ABSOLUTE MESSUNGEN

ÜBER DIE

ELEKTRISCHE OBERFLÄCHENLEITUNGSFÄHIGKEIT DES GLASES

BEI VERSCHIEDENER FEUCHTIGKEIT DER UMGEBENDEN LUFT.

Inaugural-Dissertation

zur

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

genehmigt von der hohen philosophischen Facultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

und

mit den beigefügten Thesen öffentlich verteidigt

am 10. Februar 1894

von

ANTON KRUMMENACKER

aus Plaine-de-Walsch.

Opponenten:

Peter Bauer, stud. phil.
Erich Kaiser, stud. phil.
Jean Peters, stud. phil.

Bonn,
Hauptmann'sche Buchdruckerei.
1894.

DEM ANDENKEN AN HEINRICH HERTZ

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547419_0196

Einleitung.

Schon früh in der Geschichte der Elektricität finden wir die Beobachtung verzeichnet, dass bei trockenem Wetter eine geriebene Glasstange leichte Körperchen, wie Papierschnitzel und dergleichen, kräftig anzieht, dagegen bei feuchtem Wetter nur schwach oder gar nicht. Auch lange schon hat man die Erfahrung gemacht, dass ein mit Schellack gefirnisster Glasstab ein ebenso guter Isolator für Elektricität bei feuchter wie bei trockener Witterung ist. Infolgedessen hat man beim Glas eine doppelte elektrische Leitungsfähigkeit unterschieden: eine innere, im Glase selbst, und eine äussere, an dessen Oberfläche. Die erstere ist constant und im allgemeinen sehr gering: sie vermag daher nicht dem Glas seinen Charakter als guter Isolator zu nehmen; die zweite dagegen ist abhängig von der umgebenden Luft und wird, wenn diese sehr feucht ist, ganz beträchtlich: sie ist es, die das Glas als Isolator oft unbrauchbar macht.

Wenn nun auch vom praktischen Standpunkte aus das eigentliche Interesse dieser Unterscheidung darin liegt, dass die störende Oberflächenleitungsfähigkeit sich vernichten lässt, und dadurch Glas ein constant guter Isolator wird, so dürfte es vom theoretischen Standpunkte aus nicht ganz uninteressant sein, dieselbe weiter zu studieren, besonders da genauere Kenntnisse hierüber uns vielleicht näheren Aufschluss über die noch ziemlich rätselhafte Glasoberfläche verschaffen könnten. Vor allem sind hier die folgenden, meines Wissens noch nicht behandelten Fragen zu beantworten: wie gross ist dieses Leitungsvermögen bei einem gegebenen Feuchtigkeits-

gehalt der Luft? In welchem Verhältnis nimmt das erstere mit dem letzteren zu? Welches ist ungefähr die obere Grenze für jenes bei mit Wasserdampf gesättigter Umgebung? — Die Beantwortung dieser Fragen ist um so interessanter, je widersprechender die allgemeinen Vorstellungen sind, denen man hierüber begegnet, indem einige Autoren das in feuchter Atmosphäre sich befindende Glas noch zu den schlechten Isolatoren rechnen, während andere[1]) es bereits unter die guten Leiter versetzen.

Wie man von vornherein einsieht, kann bei der Verschiedenheit der Glassorten diese Antwort keine für jedes Glas allgemein gültige sein. Ja selbst bei einem und demselben Glas ist das Leitungsvermögen bei derselben Feuchtigkeit keine absolut constante Grösse, — wie es sich bei den Versuchen zeigte, und was sich auch bei dem veränderlichen Gehalt der Luft an schwebenden Staubkernchen und ähnlichen Körperchen erwarten lässt. Indes haben die Versuche gezeigt, dass diese letzteren Schwankungen die Ordnung der gefundenen Grössen nicht veränderten. Was dagegen die durch die Verschiedenheit des Glases hervorgebrachten Schwankungen anbelangt, so mag schon an dieser Stelle folgendes Resultat mitgeteilt werden: bei mit Wasserdampf gesättigter Umgebung ergaben sich für den Widerstand eines Streifens Oberfläche von der Länge 1 cm und der Breite 1 cm die extremen Werte von rund 6 000 Megohm für ein bleihaltiges Glas und 700 Megohm für ein Natronglas.

Versuchsmethode.

Bei der unbegrenzten Mannigfaltigkeit der Zusammensetzungen des Glases hatte es wenig Zweck, die verschiedenen bisher hergestellten Abstufungen der drei Arten Natron-, Kali- und Bleiglas sich zu verschaffen; wichtiger dagegen war

[1]) Cf. Cardani: „Sul potere conduttore superficiale del vetro, dovuto allo strato di umidita, a temperature differenti.“ Il nuovo Cimento. III Serie, tomo 20, (1886) pg. 89, Zeile 13 von unten: „Bei der gewöhnlichen Temperatur, bei welcher der feuchte Schleier (auf dem Glas) einen guten Leiter ausmachte u. s. w.“

es, sämmtliche Feuchtigkeitszustände zur Verfügung haben zu können. Eine einfache und praktische Methode hierfür liefert die Eigenschaft der Schwefelsäure, Wasserdampf zu absorbieren, und zwar bis zu einer desto geringeren Spannung, je concentrierter die Schwefelsäure ist. Infolge dieser Eigenschaft herrscht über einer Schwefelsäure von bestimmter Concentration eine bestimmte Spannung des noch vorhandenen, eventuell aus der verdünnten Säure selbst hervorgegangenen Wasserdampfes. Stellt man daher alle mögliche Concentrationen von der absolut reinen bis zur unendlich verdünnten Schwefelsäure dar, so hat man ein bequemes und sicheres Mittel, alle mögliche Feuchtigkeitszustände zwischen vollständiger Trockenheit und vollständiger Sättigung mit Wasserdampf constant herzustellen. Um den Grad der Feuchtigkeit selbst zu bestimmen, benutzt man am besten die von Regnault[1]) mit überaus grosser Sorgfalt und Genauigkeit eigens zu diesem Zweck vorgenommenen Messungen der betreffenden Spannungen und entnimmt aus den von ihm aufgestellten Tabellen, direkt oder durch Interpolation, die einer bestimmten Concentration entsprechende relative Feuchtigkeit; — wie es denn in dieser Arbeit durchweg der Fall war. Diese Tabellen sind um so zuverlässiger, als in letzter Zeit R. v. Helmholtz[2]), für den von ihm ausgerechneten Teil derselben, bis auf circa 1% zu den gleichen Werten auf einem ganz anderen Weg gelangt ist.

Für die Bestimmung der Leitungsfähigkeit des einer gewissen Feuchtigkeit ausgesetzten Glases erwies sich die gewöhnliche Methode mit dem Galvanometer als völlig unzureichend; selbst mit einem sehr empfindlichen Du Bois Reymond'schen Spiegelgalvanometer von 24 000 Windungen konnte man bloss bei sehr grossen Feuchtigkeiten Resultate erlangen. Als einzig brauchbar blieb nur die sog. Siemens'sche oder Condensator-Methode übrig; — dieselbe zeigte sich aber auch für alle Grade der Feuchtigkeit ausreichend. Verbindet man nämlich von den beiden mit Stanniol belegten Enden des

[1]) V. Regnault: „Etudes sur l'hygrométrie." Ann. de Chim. et de Phys. III Série, tome 16, (1845) pg. 179.

[2]) R. v. Helmholtz: „Untersuchungen über Dämpfe und Nebel, besonders über solche von Lösungen." Wied. Ann. Bd. 28, (1886) pg. 532.

Glases das eine mit einem Condensator, das andere mit einer constanten Elektricitätsquelle, oder auch mit der Erde, und beobachtet man die Zeit, in welcher der ungeladene Condensator sich bis zu einem gewissen Potential ladet, oder auch in welcher das Potential des geladenen Condensators um einen bestimmten Wert sinkt, so lässt sich aus beobachteter Zeit, Capacität des Condensators und elektromotorischer Kraft der Elektricitätsquelle der Widerstand des Glases leicht ableiten: aus dem gemessenen absoluten Widerstand lässt sich dann sofort das Mass der Leitungsfähigkeit entnehmen.

Was nun die praktische Ausführung der Methode anbelangt, so genügt es offenbar, um eine vollständige Feuchtigkeitsscala zu erhalten, zwischen den zwei Extremen eine gewisse Anzahl von Übergangszuständen herzustellen. Trägt man dieselben als Abscissen auf eine Grade auf, und errichtet man an deren Endpunkten Senkrechte, welche den entsprechenden Leitungsfähigkeiten proportional sind, so lässt sich leicht durch Verbindung der Endpunkte dieser Normalen eine Curve ziehen, welche das Leitungsvermögen als Function der Feuchtigkeit darstellt. Vor allem galt es, diese passenden Zwischenzustände zu finden. Zu dem Zweck wurde die Leitungsfähigkeit eines und desselben Glases in Gegenwart von Schwefelsäuren, deren specifische Gewichte von 1,840 an bis 1,200 durch passende Hinzufügung von Wasser beständig um 0,02 kleiner gemacht wurden, untersucht. Es zeigte sich, dass bei dem angewandten Glas von der Dichte 1,840 bis circa 1,600 die Leitungsfähigkeit sich kaum änderte; ferner, dass überhaupt bei den concentrierteren Lösungen die für den Widerstand sich ergebenden Werte leicht in einander übergriffen, während sie bei den verdünnteren sämmtlich von einander getrennt blieben. Eine Wiederholung der Messungen, vorgenommen mit denselben neu hergestellten Säuren, lieferte fast überall entweder kleinere oder grössere als die zuerst erhaltenen Werte. Es wurde nun zunächst durch zahlreiche, öfters wiederholte Messungen mit einigen in grösseren Quantitäten dargestellten Mischungen festgestellt, dass dieses Ineinanderübergreifen und diese Unterschiede eine constante Erscheinung waren, herrührend vom Wechsel der Temperatur, sowie wohl auch von der Veränderlichkeit der Zimmerluft,

mit welcher ja das Glas zwischen zwei Messungen immer in Berührung kam. Ferner wurde festgestellt, dass selbst wenn die extremen Zustände der gewöhnlichen Temperatur- und Luftverhältnisse eines Zimmers — einerseits $+8^0$ und $+17^0$ C.[1]), andererseits reine, aus einem Garten eingelassene Morgenluft und durch mehrstündiges Brennen einer Gasflamme, kleinere Staubwirbel sowie längere Anwesenheit des Beobachters verdorbene Abendluft — vorhanden waren, die grössten sich ergebenden Werte höchstens das dreifache der kleinsten betrugen, während die Scala, welche die Leitungsfähigkeit von der vollständen Trockenheit bis zur vollständigen Sättigung mit Wasserdampf durchlief, sich von 1 bis 1 000 000 ausdehnte. Es ergab sich daher als zweckmässig, grössere Intervalle zwischen den einzelnen Dichten zu nehmen, und zwar um so grösser, je concentrierter die Lösungen waren. Abgesehen davon, dass dies das einzige Mittel war, um sich von jenen unvermeidlichen Schwankungen einigermassen unabhängig zu machen, waren die grösseren Intervalle auch dadurch geboten, dass das Glas eine ziemlich lange Zeit brauchte, um die einer bestimmten Feuchtigkeit entsprechende Leitungsfähigkeit anzunehmen: bei der günstigsten, später zu beschreibenden Einrichtung betrug sie durchschnittlich noch immerhin 3 Stunden. — Eine solche Reihenfolge von Schwefelsäuren näherte sich ziemlich derjenigen, welche Regnault selbst zur Aufstellung seiner Tabellen, unter strenger Prüfung mittelst genauer quantitativer chemischer Analyse, benutzt hat; nämlich:

$SO_4H_2 + H_2O$, $SO_4H_2 + 2H_2O$, $SO_4H_2 + 3H_2O$,
$SO_4H_2 + 4H_2O$, $SO_4H_2 + 5H_2O$, $SO_4H_2 + 7H_2O$,
$SO_4H_2 + 9H_2O$, $SO_4H_2 + 11H_2O$, $SO_4H_2 + 17H_2O$.

Diese Mischungen wurden denn auch durch sorgfältige Abwägung der Äquivalentgewichte

$$SO_4H_2 = 32 + 4.16 + 2.1 = 98$$
$$H_2O = 2.1 + 16 = 18$$

hergestellt. Dadurch sollte es ermöglicht sein, die entsprechenden Feuchtigkeitsgrade ohne Interpolation direkt aus Regnaults Tabellen zu entnehmen. Vollständige Trockenheit und vollständige Feuchtigkeit wurden hergestellt durch reine Schwefelsäure, resp. reines destilliertes Wasser. Leider wurde über-

[1]) All diese Voruntersuchungen fanden während des Winters statt.

sehen, dass die zur Verfügung stehende, als „rein“ angewandte Schwefelsäure, deren Dichte 1,840 bei 11° C. betrug, nicht die „wasserfreie“, durch mehrfaches Umkrystallisieren erhaltene Säure SO_4H_2 war. Die specifischen Gewichte der von mir durch Wägung hergestellten Mischungen A betrugen in der obigen Reihenfolge:

1,743; 1,614; 1,514;
1,454; 1,402; 1,315;
1,272; 1,217; 1,160;

und zwar sämmtlich bei 11° bis 12°C. Als später die den Mischungen von Regnault entsprechenden specifischen Gewichte ausgerechnet wurden, — wobei sich herausstellte, dass sie alle grösser waren als die correspondierenden aus den Mischungen A, — waren mit den letzteren schon so viele Messungen vorgenommen worden, dass beschlossen wurde diese zu behalten. Die ihnen zukommenden Feuchtigkeiten wurden auf folgende Weise bestimmt.

Aus einer Tabelle, in der specifisches Gewicht und Procentgehalt an Gewichtsteilen von SO_4H_2 verglichen waren, wurde der Procentgehalt der Mischungen A ausgerechnet. Als solche Tabelle wurde die von Kolb[1]) benutzt, und zwar wie sie in der Sammlung von Landolt und Börnstein[2]) enthalten ist. Für die Interpolation wurde angenommen, dass innerhalb der daselbst enthaltenen Zahlen Procentgehalt und specifisches Gewicht einander direkt proportional sind: — eine Annahme, die nach den Verhältnissen, in denen die Zahlen der Tabelle fortschreiten, jedenfalls keinen merklichen Fehler nach sich zieht. Da die Dichten bei Kolb sich auf 15°C. beziehen, wurde bei der Ausrechnung, für die concentrierteren unter den Mischungen A, der Ausdehnungscoefficient berücksichtigt, und zwar nach Lange und Naef[3]) gleich 0,001 genommen. Der Procentgehalt p_n der Mischungen von Regnault ergiebt sich sofort aus den Äquivalentgewichten 98 und 18 durch die Formel:

---

[1]) Dinglers Polytechnisches Journal. Bd. 209, (1873) pg. 268.

[2]) Physikalisch-chemische Tabellen von Landolt und Börnstein. (1883) pg. 140.

[3]) Landolt und Börnstein: Tabellen. pg. 140.

$$p_n = \frac{98}{98 + n\,18} \cdot 100,$$

wo für n die jedesmalige Anzahl der Moleküle Wasser zu setzen ist.

Überblickt man nun die von Regnault gemessenen Spannungen des Wasserdampfes über seinen Mischungen und die von ihm ausgerechneten relativen Feuchtigkeiten, [1]) so bemerkt man, dass zwar die ersteren von einem Wärmegrad zum anderen ziemlich grosse Unterschiede zeigen, dass dagegen die letzteren unter den gewöhnlichen Temperaturverhältnissen, selbst für ein Intervall von 10° C., um meist weniger als 1% sich ändern. Es sind daher, da ja die auszurechnende Leitungsfähigkeit sich als ziemlich variabel erwiesen hat, die den Mischungen A zukommenden Feuchtigkeitsgrade bloss für eine Mitteltemperatur ausgerechnet und für jeden in den Messungen vorkommenden Wärmegrad als constant angesehen worden; da alle vollständig durchgerechnete Messungen zwischen 12° und 20° C. stattfanden, wurde als Mitteltemperatur 16° C. angenommen. — Für die Interpolation wurden die Procentgehalte von Regnaults Mischungen als Abscissen, die von ihm ausgerechneten relativen Feuchtigkeiten als Ordinaten aufgetragen, und so eine graphische Curve gezogen. Überall liess sich die Curve hinreichend genau durch die geradlinige Verbindung der Ordinaten-Endpunkte darstellen, nur in dem Intervall zwischen den Spannungen von $SO_4H_2 + 17H_2O$ und reinem Wasser wich die gerade Linie ziemlich beträchtlich von der Curve ab. Nachdem aber die von R. v. Helmholtz [2]) gemachte Bestimmung der der Säure $SO_4H_2 + 50H_2O$ entsprechenden Feuchtigkeit eingeschaltet war, zeigte sich, dass auch dieser Teil der Curve mit ausreichender Genauigkeit durch die gerade Verbindung der betreffenden Punkte dargestellt werden konnte. Es ist daher die Interpolation überall geradlinig geschehen.

Folgende Tabelle 1 enthält die Resultate der bisher angegebenen Rechnungen.

[1]) l. c. pg. 179—181.
[2]) l. c. pg. 534.

Tabelle 1.

Mischungen von Regnault	Misch. A, Dichte bei 15° C.	Procentgehalt an SO_4H_2		Relative Feuchtigkeit bei 16° C., in Procenten	
SO_4H_2 + H_2O		84,5		1,00	
	1,740		80,6		2,4
„ + $2H_2O$		73,1		5,07	
	1,611		69,7		8,2
„ + $3H_2O$		64,5		12,95	
	1,512		60,8		17,3
„ + $4H_2O$		57,6		21,14	
	1,452		55,3		26,2
„ + $5H_2O$		52,1		33,21	
	1,401		50,2		36,7
„ + $7H_2O$		43,7		48,78	
	1,315		41,0		55,0
„ + $9H_2O$		37,7		62,57	
	1,272		35,8		65,0
„ + $11H_2O$		33,1		70,86	
	1,217		29,2		76,6
„ + $17H_2O$		24,3		83,70	
	1,160		21,8		85,7
„ + $50H_2O$ (Misch. v. v. Helmholtz.)		9,8		95,25 (bei 16°C.)	

Sämmtliche später angeführte absolute Messungen sind mit diesen Mischungen A vorgenommen. Diese wurden in Flaschen mit matt geriebenem Stöpsel aufbewahrt; ihre specifischen Gewichte haben sich innerhalb der ganzen Zeit, in der sie verwandt wurden, wenig geändert: am Ende der Messungen, 5 Monate nach Herstellung der Säuren, waren sie in der obigen Reihenfolge:

1,724; 1,592; 1,497;
1,434; 1,385; 1,313;
1,272; 1,217; 1,160;

und zwar alle bei 20,5° bis 21° C. Am meisten hatte die als „rein" angewandte Schwefelsäure gelitten; ihr specifisches Gewicht betrug am Anfang 1,840 bei 11° C., am Ende 1,816; allerdings war sie ungemein häufig benutzt worden, und war letztere Dichte gemessen bei 21° C.

Was die Condensator-Methode zur Messung der Leitungsfähigkeit betrifft, wurde untersucht, ob es zweckmässiger sei, die Ladungs- oder die Entladungszeit zu beobachten. Anfang- und Endpotential wurden bestimmt mittelst eines Quadranten-Elektrometers von Thomson mit Spiegelablesung;

das eine Quadrantenpaar war beständig mit der Erde, das andere beständig mit der geladenen Condensatorplattte verbunden; — die zweite Condensatorplatte war zur Erde abgeleitet. Je grösser nun der Unterschied der Potentiale an den beiden Enden des Glases ist, desto schneller nimmt das Potential des Condensators ab resp. zu. Es zeigte sich nun, dass bei kleinerem Potentialunterschied die Elektrometernadel schon mehrere Minuten brauchte, um eine passende Änderung ihrer Stellung anzunehmen. Es mussten also grössere Unterschiede hergestellt werden. Wurde nun, wenn man die Entladungszeit beobachten wollte, der Condensator und also auch das mit ihm verbundene Quadrantenpaar des Elektrometers auf ein grösseres Potential geladen, so wurde der Ausschlag der Nadel zu gross: derselbe war oft nicht verfolgbar und überhaupt den direkt abgelesenen Scalenteilen nicht mehr proportional; besonders aber war die Lage der Nadel infolge der allzu grossen Torsion des Aufhängefadens nicht mehr dieselbe wie am Anfang, wenn man das mit dem Condensator verbundene Quadrantenpaar wieder zur Erde ableitete. Alle diese Mängel fielen weg, wenn die Ladungszeit beobachtet wurde: sämmtliche hier angeführte Messungen sind denn auch nach diesem Verfahren gemacht worden. Für die dazu nötige Formel diente folgende Erwägung.

Es ist die Formel des Ohm'schen Gesetzes

$$J = E/W,$$

wo J bedeutet: Intensität des Stromes.

E „ Elektromotorische Kraft.

W „ Gesammtwiderstand.

In den hier vorgenommenen Messungen setzte sich W zusammen aus dem inneren Widerstand der Elektricitätsquelle, dem verschiedener Drähte und dem des Glases: dem letzteren gegenüber konnten selbst bei absoluter Feuchtigkeit alle andere vernachlässigt werden. Es wird nun die Intensität eines Stromes gemessen durch die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt des geschlossenen Stromes fliesst; andererseits ist die Elektricitätsmenge, die sich in einer Zeit t auf einem Condensator angesammelt hat, gleich der Capacität des Condensators, multipliciert mit dem nach der Zeit t erlangten Potential. Ist also

V_1 die elektromotorische Kraft oder das Potential der Elektricitätsquelle,

$\varkappa$ die Capacität des Condensators,

V_2 das nach der Zeit t erlangte Potential desselben, so wird $J = \varkappa V_2/t$, und die Ohm'sche Formel nimmt die Gestalt an:

$$\frac{\varkappa V_2}{t} = \frac{V_1}{W}, \text{ oder } W = \frac{V_1 t}{\varkappa V_2}$$

An diese Formel müssen einige Bemerkungen geknüpft werden. In der angewandten Methode hat man es nicht mit einem geschlossenen Stromkreis zu thun; sondern die Elektricität geht von der Batterie aus durch das Glas und sammelt sich auf dem Condensator, bis dessen Potential dasjenige der Batterie angenommen hat, in welchem Augenblick die bis dahin stetig abnehmende Strömung aufhört. Man hat es also eigentlich mit einer Kette zu thun, deren elektromotorische Kraft V_1 beständig abnimmt. Wollte man nun strenge verfahren, so müsste man die von Ohm [1]) eigens hierfür aufgestellte, sehr complicierte Formel zu Hülfe nehmen. Doch, da der zu verschiedenen Zeiten an einem und demselben Glase gemessene Widerstand innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwankte, genügte es, anstatt des Potentials V_1 einen Mittelwert zwischen V_1 und $V_1 - V_2$ zu nehmen; — dabei durfte V_2 nicht zu gross sein gegen V_1. Es wurde nun obige Formel zu:

$$W = \frac{\frac{V_1 + (V_1 - V_2)}{2} t}{\varkappa V_2} = \frac{(2V_1 - V_2)t}{2\varkappa V_2}$$

Es schien der Mühe wert, experimentell zu prüfen, ob diese Vereinfachung zulässig sei. Zu dem Zweck wurden an demselben Glas, nachdem festgestellt war, dass es eine constante Feuchtigkeit angenommen hatte, je zwei Messungen gemacht, so dass das eine Mal ein grösseres V_2 als das andere Mal zugelassen wurde. Es mögen hier aus einigen Messungen, bei denen die Unterschiede zwischen einem ersten und einem zweiten V_2 ziemlich gross sind, die betreffenden Daten und die nach der letzten Formel sich ergebenden Widerstände angeführt werden.

[1]) Ohm: Die galvanische Kette. (1827) pg. 175.

Tabelle 2.

Messung	V_1 in Scalenteilen	V_2 in Sc.	x in Mikrofarad	t in Sekund.	W in Megohm	Differenz
1	12.37	10	0,5	16,7	1 470	1,4 %
2	„	85	„	158	1 490	
1	12.15,8	15,9	„	100	2 280	0,9 %
2	„	32,1	„	213	2 300	
1	12.41	50	0.008	35	40 860	1,5 %
2	„	1	0,5	42	41 290	

Man sieht, die obige Vereinfachung konnte ohne weiteres angewandt werden, und es sind denn auch alle später angeführte Zahlen nach ihr ausgerechnet worden.

Wie aus der Formel hervorgeht, ist die Leitungsfähigkeit der Capacität des Condensators direkt proportional. Da nun die grössere oder kleinere Feuchtigkeit das Leitungsvermögen des Glases in weiten Grenzen variieren lässt, musste auch die Capacität des Condensators in ungefähr denselben Grenzen variieren. Zu dem Ende wurden Condensatoren von verschiedener Grösse angewandt. Als für alle Feuchtigkeitsgrade vollkommen ausreichend erwies sich folgende Reihe:

das Elektrometer selbst	E
eine gewöhnliche Leydener Flasche	L_1
eine grosse „ „	L_2
eine noch grössere „ „	L_3
ein Siemens'scher Condensator-Kasten	M.

Die Capacität der letzteren war in absolutem Mass gegeben und war gleich 0,500 Mikrofarad. Die Messung der Capacität der anderen Condensatoren, vorgenommen durch Vergleichung mit M, ergab daher dieselbe ebenfalls in absolutem Mass. Die Vergleichung fand statt mittelst des Elektrometers, indem ein Condensator zu einem Potential a_1 geladen, der zweite mit ihm verbunden, und nun das vorhandene Potential a_2 beobachtet wurde. Es wurde so verglichen: E mit L_1, L_1 mit L_2, L_2 mit L_3, $L_2 + L_3$ mit M. Sämmtliche Vergleichungen wurden auch in umgekehrter Ordnung gemacht: aus beiden wurde das Mittel genommen; — jede

Zahl selbst war das Mittel aus 3 gut übereinstimmenden Messungen. So ergab sich:

$E + L_1 = 0{,}33\ L_2$; wahrscheinlicher Fehler 0,01.
$L_2 = 0{,}55\ L_3$; „ „ 0,02.
$L_2 + L_3 = 0{,}025\ M$; „ „ 0,0003.

Die Capacität E war infolge der variablen Ladung des Elektrometers selbst variabel; bei der hier angeführten Vergleichung von L_1 mit L_2 war $E = 0{,}07\ L_1$.

Es war also die Capacität $M = 0{,}500$ Mikrofarad.
$L_3 = 0{,}0080$ „
$L_2 = 0{,}0044$ „
$L_1 = 0{,}00136$ „

Die Capacität des Elektrometers wurde für verschiedene Stärken der Ladung eigens bestimmt. In folgender Tabelle 3 steht der jedesmaligen Ladung e−, wobei e den Ausschlag der Elektrometernadel in Scalenteilen bedeutet, wenn das sonst mit dem Condensator verbundene Quadrantenpaar direkt mit dem Zinkpol eines Normal-Daniell-Elementes verbunden wurde, während der Kupferpol zur Erde abgeleitet war, — die entsprechende Capacität gegenüber.

Tabelle 3.

e	Capacität			
10,4	0,047 L_1	oder	0,000064	Mikrofarad.
30	0,055 „	„	0,000075	„
50	0,070 „	„	0,000095	„
66,5	0,085 „	„	0,000116	„
85,7	0,108 „	„	0,000147	„
98	0,129 „	„	0,000175	„
107,8	0,150 „	„	0,000204	„
112,5	0,175 „	„	0,000238	„

Mit Hülfe dieser Werte wurde eine graphische Curve gezeichnet: aus ihr ist dann jedesmal die betreffende Capacität entnommen worden.

Der eigentliche Versuchsraum, in dem das Glas den verschiedenen Feuchtigkeiten ausgesetzt wurde, war folgendermassen eingerichtet. Es war das Glas unten und oben mit einer Belegung von Stanniol B_1 und B_2 (s. Fig. 1 am Ende

der Arbeit) versehen und unter eine Glocke aus Glas gebracht; der Rand der Glocke war matt geschliffen und konnte mittelst Talg auf eine ebenfalls matt geschliffene Glasplatte luftdicht aufgedrückt werden. Oben war die Glocke mit einer kreisrunden, ungefähr 5 cm weiten Öffnung versehen, in welche eine Messingfassung NN luftdicht eingerieben war. Über den Propfen, durch welche die Messingfassung verschlossen wurde, war eine Schicht von brennendem Siegellack getröpfelt worden. Durch den Pfropfen selbst waren 3 Öffnungen gebohrt: durch zwei derselben, 1 und 2, ging je ein Glasröhrchen — an seinen Enden mit Schellack gefirnisst —, durch welche je ein Messingdraht I und II geführt war. Der erste stellte die Verbindung her zwischen der unteren Belegung B_1 des Glases und einer Batterie, der zweite zwischen der oberen Belegung B_2 und dem nicht constant mit der Erde verbundenen Quadrantenpaar i des Elektrometers, resp. dem Condensator (s. Fig. 3). Durch die Öffnung 3 endlich ging ein Thermometer, eingeteilt in Zehntelgrad Celsius: der dritte Teil eines Zehntelgrades konnte noch mit Sicherheit abgelesen werden. Nachdem festgestellt worden, dass, selbst wenn das Glas nicht in der Glocke war, das Elektrometer trotzdem eine Ladung von derselben Elektricität wie die am Drahte I annahm, dass also diese vom Drahte I durch das ihn umgebende Glasröhrchen, den Pfropfen, das den Draht II umgebende Glasröhrchen hindurch zum Draht II und so zum Elektrometer gelangte, wurde durch die erweiterte Öffnung 2 zuerst ein Stück Messingrohr rr (s. Fig. 2) gesteckt; der innere Durchmesser desselben betrug 1,2 cm; oben und unten ragte es um circa 2,5 cm aus dem Pfropfen heraus. An dasselbe wurde ein Kupferdraht K gelötet und dieser mit der Erde verbunden. Dann erst wurde das zweite, den Draht II enthaltende Glasröhrchen — dessen äusserer Durchmesser circa 0,3 cm betrug — durch dieses Messingrohr gesteckt, und zwar so, dass es sich genau in der Achse desselben befand, oben und unten durch Siegellack ll im Messingrohr selbst — und zwar luftdicht — befestigt und so gleichzeitig isoliert. Wollte nun vom Draht I irgend eine Elektricitätsmenge durch den Pfropfen zum Draht II gehen, so gelangte sie zuerst an das schützende Messingrohr rr, und

bevor sie noch Zeit hatte, das isolierende Siegellack zu passieren, wurde sie durch den angelöteten Draht K zur Erde abgeleitet. Die aus dem Pfropfen oben und unten herausragenden Teile des Rohres rr wurden stets blank gehalten. Zu wiederholten Zeiten angestellte Versuche ergaben in der That, dass dann vom Draht I nichts mehr zum Draht II überging, wenn das Glas nicht in der Glocke war.

Damit das Glas die gewollte Feuchtigkeit möglichst schnell annehme, musste die Schwefelsäure in der Glocke eine möglichst grosse Oberfläche haben. Als die zweckmässigste aller versuchten Einrichtungen erwies sich die folgende. Als Recipient für die Säure diente ein flacher, dünner Becher RR (s. Fig. 1), dessen äusserer Durchmesser nur um wenige Millimeter kleiner war als der innere Durchmesser der Glocke an ihrem unteren Ende. In der Schwefelsäure stand eine 3—4 cm hohe, unten und oben offene Glasröhre c_1c_1, von circa 6 cm Durchmesser. Auf ihr lag ein aus 3 starken Messingdrähten zusammengelöteter Triangel: auf diesem war das zu untersuchende Glas gestellt. Um einen sicheren Contact zwischen den Belegungen und den Messingdrähten I und II herzustellen, wurde folgendermassen verfahren. Das Glas wurde entweder in Form eines Bechers oder einer weiten Röhre angewandt. Der Becher resp. die Röhre war an dem Ende B_1 mittelst steifen Cartonpapiers in eine etwas weitere, 3 cm hohe, unten und oben offene Röhre c_2c_2 eingedreht. Zwischen Cartonpapier und eingedrehtem Becher befand sich das schmale, scharfkantige, 1,5 cm lange Ende m eines unter beinahe rechtem Winkel gebogenen Streifens aus dünn gehämmertem Messingblech; das andere breitere Ende n ragte nicht ganz horizontal, sondern etwas schräg nach oben, in die freie Luft. Es endeten nun die Drähte I und II in Spiralen s_1 und s_2: die eine s_1 drückte auf das Ende n des stark federnden Messingblechs; durch diesen Druck wurde auch das Ende m gegen die Belegung B_1 gedrückt, wenn das Eindrehen des Bechers in die Röhre c_2c_2 den Contact zwischen B_1 und m nicht hinreichend sicherte, (was allerdings kaum wahrscheinlich ist); die andere Spirale s_2 drückte auf eine auf das obere Ende des Bechers gelegte Zinkblechscheibe a. Beide Spiralen waren so abgepasst, dass der Druck imstande

war, den Contact sicher herzustellen, ohne dass er es vermochte, die mit Talg aufgedrückte Glocke von der Platte wegzudrücken und so undicht zu machen. Alle Contactstellen wurden stets sorgfältig blank gehalten.

Wie gleich am Anfang hervorgehoben wurde, hatten Temperaturschwankungen eine beträchtliche Veränderung der Leitungsfähigkeit des Glases zur Folge. Um eine möglichst constante Temperatur zu erzielen, wurde die Glocke in einen Wärme-Isolator von folgender Construction gestellt. Auf dem Boden eines oben offenen cylindrischen Behälters Z_1Z_1 aus Zinkblech (s. Fig. 3), von 38 cm Höhe und 35 cm Durchmesser, waren die 6 cm hohen Füsse eines kleineren, ganz ähnlichen Behälters Z_2Z_2, von 32 cm Höhe und 23 cm Durchmesser angelötet. Der so erhaltene Hohlcylinder HH war mit Wasser angefüllt. Auf dem oberen Rande des Behälters Z_1Z_1 hingen in den inneren Raum hinein, ringsum, mehrere unten horizontal gebogene Blechstreifen; dieselben trugen so die zwei Hälften eines in der Mitte mit einer Öffnung versehenen Kreises, ebenfalls aus Zinkblech. In die Öffnung passte gerade die Messingfassung der Glocke. Zwischen der Messingfassung und der inneren Wand des Cylinders Z_2Z_2 waren, sich zu einem Kreise ergänzend, Ausschnitte von 1,5 cm dickem Filz eingezwängt. In diesen, so mit einem abnehmbaren Deckel versehenen Wärme-Isolator wurde die Gloke, wenn eine neue Schwefelsäure unter dieselbe gestellt worden war, mittelst Schnüre eingelassen. Der ganze Apparat ruhte auf 3 ziemlich dicken Scheibchen von Siegellack.

Die Beobachtung am Elektrometer geschah mittelst Scala und Fernrohr; die Entfernung derselben vom Spiegel des Elektrometers betrug beständig 2 m 10 cm. Vom Sitze des Beobachters aus konnte das mit dem Condensator verbundene Quadrantenpaar i nach Belieben isoliert oder abgeleitet werden; ausser der kurzen Zeit einer Ablesung war dasselbe immer mit der Erde verbunden. Ebenfalls vom Sitze des Beobachters aus konnte mittelst eines Commutators die Belegung B_1 mit einer Batterie oder mit der Erde verbunden werden. Die Batterie selbst bestand aus 12 kleinen Daniell'schen Elementen; über der gesättigten schwereren Kupfervitriollösung war eine fünfprocentige Zinkvitriollösung geschichtet. Die

Batterie wurde anfangs alle 3 Tage, später alle 8 Tage erneuert; der Kupferpol war stets abgeleitet. Als Verbindung mit der Erde galt die mit der Wasserleitung; alle Anschlüsse waren, wo nur thunlich, durch Lötung bewerkstelligt. — Die in der obigen Formel vorkommende Zeit t wurde mittelst einer sog. Tertien-Uhr bestimmt.

Der Verlauf eines Versuches ist folgender. Nachdem die Glocke, mit Glas und Schwefelsäure, eine Zeit lang im Wärme-Isolator gestanden, während welcher B_1 und i, also auch B_2 abgeleitet waren, wird zuerst B_1 mit dem einen Pol der Batterie verbunden. Da der andere Pol auch abgeleitet ist, hat man einen geschlossenen Stromkreis, in dem das Glas als Widerstand eingeschaltet ist: nach einer bestimmten Zeit ist die Strömung constant geworden — 0,5 bis 5 Minuten, je nach der Feuchtigkeit in der Glocke. Es wird nun mit der einen Hand die Erdverbindung von i aufgehoben: genau im selbigen Augenblick wird in der anderen Hand durch Druck auf einen Knopf an der Uhr dem bis dahin arretierten langen Sekundenzeiger freier Lauf gelassen. Die Nadel des Elektrometers beginnt fast sofort aus ihrer Ruhelage auszuweichen. Durch passende Wahl des Condensators und des Ausschlags kann das Ausweichen der Nadel so geregelt werden, dass das Trägheitsmoment der letzteren keinen merklichen Fehler verursacht. Hat der Ausschlag die gewollte Grösse erreicht, so wird durch Druck auf den Knopf der Sekundenzeiger der Uhr sofort sistiert: die Zeit t, welche der Condensator gebraucht hat, um sich vom Potential 0 zu dem in Scalenteilen gemessenen Potential V_2 zu laden, lässt sich dann bis auf den 10. Teil einer Sekunde auf der Uhr ablesen. Die Wiederherstellung der Verbindung von i und B_1 mit der Erde beendigt den Versuch.

Ist nun nach einer bestimmten Zeit die bis dahin ab- oder zunehmende Leitungsfähigkeit des unter der Glocke noch immer derselben Feuchtigkeit ausgesetzten Glases eine constante geworden, — dies wurde angenommen, wenn die sich bei diesem Versuche ergebende Zeit t_2 um höchstens 2 % von der eine Viertelstunde vorher erhaltenen Zeit t_1 differierte, — so wird der Zinkpol des ersten der angewandten 12 Elemente, p. h. desjenigen, dessen Kupferpol stets abgeleitet war, metal-

lisch mit dem isolierten Quadrantenpaar i verbunden; der Ausschlag des Elektrometers sei dann gleich v. Ist nun der Ausschlag des ersten plus des zweiten Elementes genau gleich 2v, — was durch hinreichend starke Ladung der Elektrometernadel immer erreicht werden kann, — und ist $V_2 < 2v$, so ist der gesuchte Widerstand gleich

$$W = \frac{(2.12v - V_2)t}{2\varkappa V_2}.$$

Sofort nach der definitiven Messung wird die Glocke aus dem Wärme-Isolator herausgezogen, und die darin enthaltene Schwefelsäure durch diejenige ersetzt, welche in der nach abnehmenden Dichten geordneten Reihenfolge der Mischungen zunächst folgt; worauf die Glocke wieder in den Behälter Z_2Z_2 hinabgelassen wird.

In obiger Formel musste noch eine kleine Correction angebracht werden: wegen der schlechten Isolierung der Condensatoren hat sich nämlich während der Zeit t ein Teil der durch das Glas gegangenen Elektricität verloren. Um die Correction zu erhalten wurde folgendermassen verfahren. Es wurde die Verbindung des Condensators mit B_2 aufgehoben; sodann er selbst zum Potential $(V_2 + 2d)/2$, wo d ziemlich klein ist gegen V_2, geladen; und nun die Zeit t′ beobachtet, in welcher das Potential von $(V_2 + 2d)/2$ zu $(V_2 - 2d)/2$ herabsank. Es wurde dann der Verlust 2d während der Zeit t′ dem Verlust während der Zeit t proportional gesetzt und daraus ein t″ ausgerechnet, welches angiebt, in welcher Zeit die Elektricitätsmenge $\varkappa V_2$ sich auf dem Condensator ansammelte, wenn kein Verlust stattfände. Alle im folgenden für t angegebene Werte sind auf solche Weise durch Correction erhalten worden.

Resultate.

1. Eine direkte Antwort auf die am Anfang dieser Arbeit gestellten Fragen kann hier bloss für ein stark bleihaltiges, sog. französisches Krystallglas gegeben werden: denn nur bei diesem war der Contact zwischen Belegung und Glasoberfläche ein unmittelbarer.

Bei solchem Glase nämlich ist die innere Leitungsfähigkeit fast gleich Null. Infolgedessen stellt ein Krystallbecher, dem man seinen Boden lässt, einen Cylinder dar, bei dem

die Elektricität von der unteren Belegung B_1 zur oberen B_2 nur längs der äusseren Oberfläche gelangen kann. Der unmittelbare Contact braucht daher bloss an demjenigen Rand einer jeden Belegung sicher angebracht zu werden, welcher der anderen Belegung gegenüber steht. Die Untersuchung auf die innere Leitungsfähigkeit wurde auf folgende Weise gemacht. Die Belegung B_1 wurde am unteren Teil des Bechers so angebracht, dass die ganze äussere Oberfläche des Bodens von ihr berührt wurde; die obere dagegen B_2 ragte kaum in das Innere des Bechers hinein. Es wurde nun zunächst nach dem oben auseinander gesetzten Verfahren die Leitungsfähigkeit, welche der Becher in Gegenwart von concentrierter Schwefelsäure unter der Glocke annahm, bestimmt. Nachdem dieselbe constant geworden, — sie war gleich Null, — wurde die Glocke geöffnet, Quecksilber in den Becher gegossen, und mittelst eines blanken Eisendrahtes eine metallische Verbindung zwischen der Belegung B_2 und dem Quecksilber hergestellt; worauf die Glocke wieder geschlossen wurde. Da der Becher in diesem Zustande eine Leydener Flasche darstellte, konnte leicht geprüft werden, ob die Verbindung zwischen B_2 und dem Quecksilber stattfand. Liess nun der Boden des Bechers auch nur eine äusserst geringe Elektricitätsmenge durch, so musste die jetzige, in Gegenwart derselben concentrierten Schwefelsäure sich ergebende Leitungsfähigkeit eine grössere sein als vorher. Bei dem angewandten Krystallbecher war dieselbe so gering, dass bereits kurze Zeit, nachdem die Glocke wieder geschlossen war, die Elektrometernadel selbst nach einer vollen Minute kaum einen Ausschlag von 0,1 bis 0,2 Scalenteilen annahm, trotzdem bloss das Elektrometer als Condensator diente und der Ausschlag für ein Daniell circa 60 Scalenteile betrug.[1]) Für die definitiven Messungen war der Becher folgendermassen präpariert. Unten und oben war, rundum, ein breiter Stanniolstreifen gewickelt Der unmittelbare Contact zwischen Belegung und Glasoberfläche war gesichert durch einen neunmal über das Stannio. um den Becher geschlungenen, mit Wachs geriebenen Bindfaden, der infolge der etwas konischen Form des Bechers

[1]) Derselbe stammte aus der Krystallfabrik von St. Louis in Lothringen.

immer höher und höher geschoben worden war; die Stelle, wo der Bindfaden nicht mehr weiter ging, war als Rand der Belegung gewählt, indem daselbst das fest angepresste Stanniol durch eine Messerspitze kreisförmig ringsum abgedrückt war. Das Glas war mit gewöhnlichem Leitungswasser unter Zunahme von Seife gewaschen und mit einem ganz reinen Leinenzeug sorgfältig abgerieben. Diese Art und Weise, die Glasoberflächen rein zu bekommen, ist auch bei allen anderen Gläsern beobachtet worden. — Während des ganzen Verlaufes der Messungen wurde der Becher bloss an den Belegungen angefasst, und ist die Waschung nicht mehr vorgenommen worden.

Die Resultate der mit diesem Krystallbecher — Bleiglas I — vorgenommenen Messungen sind in der folgenden Tabelle I angegeben. In derselben haben v, V_2, t und $\varkappa$ die oben auseinandergesetzte Bedeutung; h ist die jedesmalige relative Feuchtigkeit; t^0 ist die Temperatur im Versuchsraum, genauer im oberen Theile des Versuchsraumes, in welchem sich die Kugel des aus der Glocke herausragenden Thermometers befand; W ist der aus der Formel

$$W = \frac{(2 . 12v - V_2)t}{2\varkappa V_2}$$

sich ergebende ganze Widerstand des eingeschalteten Glases. Da in dieser Formel die mit den Grössen v. und V_2 verbundene Potentialgrösse als Faktor im Zähler und im Nenner herausfällt, ferner t in Sekunden gegeben ist, ferner $\varkappa$ die Capacität in Mikrofarad ($= 10^{-6} . 10^{9}$ cm^{-1} sec^2) bedeutet, ergiebt sich dieser Widerstand sofort in absolutem Mass: nämlich, wenn v, V_2, t, $\varkappa$ nunmehr bloss Zahlen bedeuten:

$$W = \frac{(2.12v - V_2)t}{2\varkappa V_2} \quad \frac{\text{sec}}{10^{-6} . 10^{-9} \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^2}$$

$$= \frac{(2.12v - V_2)\ t}{2\varkappa V_2} \text{ Megohm.}$$

Endlich bedeutet w den mittleren Widerstand eines Streifens Glasoberfläche von der Breite 1 cm und der Höhe 1 cm, ausgerechnet aus der Formel

$$w = W \frac{c_1 + c_2}{2l},$$

wo l die Entfernung zwischen B_1 und B_2, c_1 und c_2 der Umfang des Glases am Rande von B_1 resp. von B_2 ist: — und zwar alle drei in Centimeter. Die Tabelle umfasst 3 Versuchsreihen I, II, III; jede derselben wurde begonnen mit der vollständigen Trockenheit („reine" Schwefelsäure) und endete mit der vollständigen Feuchtigkeit (dest. Wasser). Zwischen dem Anfange einer Versuchsreihe und dem der nächstfolgenden liegen wenigstens 3 Tage.

Tabelle I.

Bleiglas I. $l = 3{,}61^{cm}$; $c_1 = 19{,}8^{cm}$; $c_2 = 20{,}5^{cm}$; $w = 5{,}6$ W.

h in %	Versuch	x in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	t°C.	W in tausend	w Megohm
0	I	E	—	0	120	—	—	—
	II	„	—	0	„	—	—	
	III	„	—	0	„	—	—	
2,4	I	E	—	0	120	—	—	—
	II	„	—	0	„	—	—	
	III	„	—	0	„	—	—	
8,2	I	E	—	0	120	—	—	—
	II	„	52,7	0,1 (?)	„	—	—	
17,3	I	E = 0,000 102	56,3	1	84	20,95	560 000	3 500 000
	II	„ = 0,000 098	53,3	1	105	19	690 000	
26,2	I	E = 0,000 102	56,2	3	51,8	20,75	114 000	760 000
	II	„ = 0,000 097	50,2	2	60	18,75	186 000	
	III	„ = 0,000 090	45	2	35	21,2	105 000	
36,7	I	E = 0,000 097	52,5	10	40	20,1	25 800	150 000
	II	„ = 0,000 095	49,8	„	64,8	19,1	40 400	
	III	„ = 0,000 086	41,0	„	25	21,1	14 200	
55,0	I	$E+L_2$ = 0,004 5	52,1	10	25	20,2	340	1 480
	II	„ „	48,4	„	27	19,1	345	
	III	„ „	40,8	„	10	20,4	108	
65,0	I	M = 0,5	51,4	5	50,7	20,5	12,5	67
	II	„ „	46	„	66	18,4	14,5	
	III	„ „	40,4	„	45	20,4	8,7	
76,6	I	M = 0,5	51	20	29	20,25	1,75	12,2
	II	„ „	46	20	45,6	18,6	2,47	
	III	„ „	25	15	59 5	21,2	2,32	
85,7	I	M = 0,5	46	60	28	19,6	0,487	4,16
	II	„ „	46,4	46,4	37	18,8	0,851	
	III	„ „	44	44	38,6	21,6	0,888	
100	I	M = 0,5	53,3	53,3	19	19,6	0,437	3,1
	II	„ „	46,4	46,4	26,5	18,8	0,609	
	III	„ „	47	47	26,8	21,6	0,616	

An diese Tabelle mögen einige Bemerkungen in betreff der Schwankungen von W geknüpft werden.

Eine der Ursachen dieser ist ohne Zweifel der Wechsel der Temperatur. Wenn auch, wie früher bemerkt, die durch eine Lösung von Schwefelsäure hergestellte Feuchtigkeit selbst innerhalb eines Intervalles von 10° C. sich meistens um weniger als 1% ändert, so ist doch zu bemerken, dass nach den erhaltenen Resultaten einer Änderung der Feuchtigkeit um 10 % eine solche der Leitungsfähigkeit um das zehnfache ihres eigenen Wertes entsprechen kann; demnach ist es möglich, dass, wenn die Temperatur sich um 1° C. ändert, bei der angewandten Methode die Leitungsfähigkeit sich um 10 % ändert. So lassen sich die obigen Schwankungen teilweise erklären. Denn nach den Tabellen von Regnault nimmt zwischen 18° und 22° C. die relative Feuchtigkeit von der Lösung $SO_4H_2 + 4H_2O$ an bis zur Lösung $SO_4H_2 + 7H_2O$ incl. (48,78 relative Feuchtigkeit) mit der Wärme zu, während sie von $SO_4H_2 + 9H_2O$ ab, wenigstens zwischen denselben Temperaturgrenzen, abnimmt. Dies stimmt aber auch so ziemlich mit der Tabelle I überein: bis zur Feuchtigkeit 55 incl. entspricht nämlich daselbst der höheren Temperatur durchweg die grössere Leitungsfähigkeit, während von da an eine solche Regelmässigkeit nicht mehr stattfindet. — Aber auch noch aus folgendem Grund kann eine Verschiedenheit der Temperatur eine Verschiedenheit der Leitungsfähigkeit hervorbringen. Die Ursache der Oberflächenleitungsfähigkeit des Glases ist offenbar die sich auf dem Glase bildende Wasserhaut, deren Dicke bei vollständiger Feuchtigkeit Warburg und Ihmori[1]) durch direkte Wägung bestimmt haben. Nun ist aber nach den Resultaten dieser Verfasser jene Wasserhaut kein reines Wasser, sondern eine Lösung von aus dem Glase gelösten Salzen. Ist dies der Fall, so wird mit der Temperatur auch der Sättigungspunkt der Lösung sich ändern, und mit ihr die Leitungsfähigkeit des Glases.

Um diesen Einfluss der Temperatur bei der angewandten Methode einwurfsfrei zu constatieren, wurde nach obigem

[1]) Warburg und Ihmori: „Über das Gewicht und die Ursache der Wasserhaut bei Glas und anderen Körpern." Wied. Ann. Bd. 27, (1886) pg. 481.

Verfahren zuerst der Widerstand eines Glases bei einer bestimmten Feuchtigkeit gemessen. Nachdem derselbe seit bereits zwei Stunden constant geworden, wurde das in dem Hohlcylinder HH des Wärme-Isolators enthaltene Wasser von der gewöhnlichen Zimmertemperatur teilweise durch heisses ersetzt; — an die im zugedeckten inneren Behälter sich befindende Glocke wurde nicht gerührt. Während nun die Temperatur in der Glocke allmählich stieg, wurde in bestimmten Zeitintervallen der jedesmalige Widerstand des Glases gemessen: wenn dieser constant geworden war, wurde eventuell nochmals ein Teil des Wassers durch noch heisseres ersetzt. Diese Constanz trat erst nach drei bis vier Stunden ein: man darf daher wohl annehmen, dass nach dieser Zeit das Glas ungefähr die Temperatur besass, welche das aus der Glocke herausragende Thermometer dann angab. — Auf umgekehrtem Weg liess sich derselbe Zweck erreichen, indem man einen Teil des Wassers durch gestossenes Eis ersetzte; jedoch durfte in diesem Fall keine zu verdünnte Schwefelsäure unter der Glocke vorhanden sein, weil bei der Abkühlung das Glas sich leicht mit Wasser beschlug, und dieses nicht mehr schnell genug durch die Säure absorbiert werden konnte.

In folgender Tabelle II sind einige Resultate von solchen Beobachtungen zusammengestellt; dabei bedeutet t^0 die Temperatur in dem Augenblick, wo der Widerstand constant geworden war. Die hier vorkommenden Natrongläser I und II, sowie ein später erwähntes Natronglas III werden so bezeichnet auf Grund einer mittelst Stichflamme vorgenommenen Untersuchung auf Bleigehalt und einer Vergleichung ihrer Spektren mit dem eines Röhrchens aus Natronglas.

Tabelle II.

Glas	h in %	x in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	t °C.	W in tausend Megohm
Bleiglas I	(55)	$L_3 = 0{,}008$	34	10	27	20	136
	(„)	„ „	„	10	17,5	25	88
	(„)	„ „	„	34	17,2	32,3	25
Natronglas I	(76,6)	M = 0,5	15,3	30,6	210	17,2	2,3
	(„)	„ „	„	„	100	24	1,1
Natronglas II	(85,7)	$L_2+E = 0{,}0045$	15,2	30,4	105	20	128
	(„)	„ „	„	„	38	33	46
	(26,2)	E" = 0,000 065	12,6	25,2	189	20,2	16 000
	(„)	„ „	„	6,3	275	5,5	99 000

Wie man sieht, war der Einfluss der Temperatur sehr beträchtlich. Bei diesem Steigen und Sinken war der Übergang stetig. Nahm das Wasser des Wärme-Isolators allmählich wieder die Zimmertemperatur an, so kehrte, und zwar stetig, auch das frühere Leitungsvermögen wieder zurück.

Liefern diese Resultate eine vollständige Erklärung für die in Tabelle I enthaltenen Schwankungen des Widerstandes W? Nein: denn diese sind meistens grösser als die Unterschiede, die durch blosse Veränderung der Temperatur sich ergeben haben, und öfters schreiten sie — wie auch in mit anderen Gläsern erhaltenen analogen Tabellen — in einer Richtung fort, die derjenigen, welche die blosse Temperaturveränderung hervorbringen würde, gerade entgegengesetzt ist. Der Grund hiervon ist wohl zu suchen in der Gegenwart fremder Gase, Staubkernchen etc. in der Luft, überhaupt in der ganzen Beschaffenheit der letzteren in dem Augenblick, als bei Erneuerung der Schwefelsäure das Glas, welches unterdessen mit der freien Zimmerluft in Berührung gekommen war, wieder unter die Glocke gestellt wurde. Als Anhaltspunkte hierfür mögen folgende Thatsachen hervorgehoben werden.

Resultate aus Tabelle I, die an einem und demselben Tage erhalten worden sind, haben meistens auch einen gemeinschaftlichen Charakter, d. h. sie sind alle grösser oder alle kleiner, als die an sonstigen Tagen mit denselben Mischungen erhaltenen, wobei die Unterschiede sich durch die blosse Temperaturveränderung nicht erklären lassen. So sind an einem Tage gemacht worden: die Versuche III mit den Feuchtigkeiten 76,6—85,7—100; so die Versuche I mit den Feuchtigkeiten 76,6—85,7; so auch die Versuche I mit den Feuchtigkeiten 26,2—36,7—55—65. Der gemeinschaftliche Charakter der Resultate dieser Versuche ergiebt sich sofort aus der Tabelle I. — Ferner, wenn man die Leitungsfähigkeit eines in freier Luft stehenden Glases untersuchen will, erhält man für verschiedene, in kurzen Intervallen hintereinander vorgenommene Messungen meistens andere und andere Werte, und zwar trotzdem das Glas schon lange Zeit an derselben Stelle sich befindet, und der in einer Entfernung von 2 Meter sitzende Beobachter nicht vom Platze weicht. — Ferner, lässt man das Glas und die umgestülpte Glocke mehrere Stunden lang

im geschlossenen Zimmer der Luft frei ausgesetzt und stellt dann die Glocke wieder über das Glas, jedoch ohne Schwefelsäure, so wird die Leitungsfähigkeit sehr bald constant. Lässt man nun durch Saugen mittelst einer Röhre von ebenderselben Zimmerluft in die oben geöffnete Glocke gelangen, so ändert sich die Leitungsfähigkeit sofort bis um 10% [1]).

Aus diesen Bemerkungen geht hervor, dass die Schwankungen des Widerstandes W durch die angewandte Methode selbst bedingt waren. Indes können dieselben, mit Rücksicht auf die sehr weiten Grenzen zwischen denen die Leitungsfähigkeit überhaupt variiert, vernachlässigt, und die oben unter der Columne w enthaltenen Widerstände als Mass der einer bestimmten Feuchtigkeit entsprechenden Oberflächenleitungsfähigkeit des Glases angesehen werden. Nach diesen letzten Widerständen w ist die Curve F in Fig. 4 gezeichnet worden. [2])

Wie früher angedeutet, sind auch für Becher, die nicht aus französischem Krystallglas waren, Messungen gemacht worden, welche eine Antwort auf die am Anfang der Arbeit gestellten Fragen erlauben sollten. Wie das Bleiglas I wurden auch sie auf ihre innere Leitungsfähigkeit untersucht. Bei allen, mit Ausnahme des oben genannten Natronglases II, war dieselbe ziemlich gering, jedoch gross genug, um zu einer Berücksichtigung der Elektricitätsmenge, welche von der äusseren Oberfläche durch die Glaswand hindurch zur inneren, und nun bei feuchter Umgebung längs der letzteren zur Belegung B_2 gelangen konnte, zu zwingen. Da es nicht möglich war, diese Menge mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, konnte für diese Gläser die Becherform nicht beibehalten werden. Es wurde daher jedesmal der obere Teil abgesprengt, und es gelangte so das Glas in Form einer kurzen, weiten, an beiden Enden offenen Röhre zur Untersuchung. Um die Schwierigkeiten, welche sich nun bei der Herstellung eines sicheren unmittelbaren Contactes darboten, zu umgehen, wurde sowohl innen als aussen, oben und unten, das Stanniol mit Leim aufgeklebt. Der Widerstand, der auf diese Weise zwischen Belegung und Glasoberfläche eingeschaltet wurde,

[1]) Vergleiche auch die Anmerkung 1, Seite 46.

[2]) Um die Curve auf dem engen Raum construieren zu können, wurde aus obigen Werten w jedesmal die vierte Wurzel gezogen.

sollte später für sich allein gemessen und so in Rechnung gebracht werden. Leider ist es aus Unachtsamkeit unterlassen worden, von dem damals gebrauchten Leim aufzubewahren, und konnten die mit einer flüssigeren Sorte gemachten Messungen für jene Gläser nicht verwandt werden. Wenn nun auch infolgedessen die für sie aufgestellten Tabellen unvollständig sind, so schien es doch der Mühe wert, wenigstens eine von ihnen hier mitzuteilen, und zwar weniger um ein ungefähres Verhältnis zwischen Leitungsvermögen und Luftfeuchtigkeit anzugeben, als vielmehr um die Richtigkeit der an Tabelle I geknüpften Bemerkungen zu zeigen. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie oben: nur stellt „W" nicht mehr den Gesammtwiderstand des blossen Glases, sondern den jedesmaligen aus Widerstand von Glas und Leim resultierenden dar. Zwischen dem Anfang einer Versuchsreihe und dem der nächstfolgenden liegen ungefähr anderthalb Tage.

Tabelle III. Natronglas III.

h in %	Versuch	z in Mikrofarad	v in Sc.	V_z in Sc.	t in Sek.	t°C.	„W" in tausend Megohm
0	I	E = 0,000 180	98	98	145	19,5	9 300
	II	„ = 0,000 164	90,7	90	114,5	20,8	8 100
	III	„ = 0,000 154	85,8	86,5	103,7	20,5	7 700
	IV	„ = 0,000 142	80	80	101	20,6	8 200
55	I	$E + L_2 = 0{,}0046$	97	5	68,4	19,7	3 450
	II	„ „	90,4	„	53,7	21,2	2 530
	III	„ „	85,6	„	56	21,3	2 490
65	I	$E + L_2 = 0{,}0046$	95,7	10	45,5	20	1 130
	II	„ „	90	„	31,5	20,9	740
	III	„ „	85,3	„	26	21,6	580
76,6	I	$E+L_2+L_3=0{,}0126$	91,5	30	53,2	19,5	152
	II	„ „	86,8	31	49,2	20,1	129
	III	„ „	85,2	31	29,8	21,9	77
85,7	I	$E + L_2+L_3=0{,}0126$	91	93	74,5	19 5	66
	II	M = 0,5	86,7	5	94.2	20,1	39
	III	„ „	85	5	60	21,6	24
100	I	M = 0,5	90,9	5	32	20,2	13,9
	II	„ „	86,5	„	26,2	20,2	10,9
	III	„ „	80	„	20,1	20,8	7,7

Als Ersatz für jene unvollständigen und unzuverlässigen Tabellen möge folgende Zusammenstellung hier Platz finden. Dieselbe enthält für 4 Glasröhrchen mit unmittelbarem Contact zwischen Oberfläche und Stanniolbelegung die Daten und Ergebnisse von je drei Messungen, welche hintereinander

zuerst bei vollständiger Trockenheit, dann hintereinander bei vollständiger Feuchtigkeit vorgenommen wurden. Nach jeder Messung ist die Waschung wiederholt worden. Sämmtliche vier Röhrchen waren von einander verschieden, und zwar bestanden sie resp. aus Blei, Kali-, Natron- und Jenaer Glas; als solche wurden sie aus dem Lagerraum von H. Dr. Geissler Nachfolger hier bezogen, und eine vor der Lampe vorgenommene Untersuchung auf Bleigehalt, resp. Streng- und Dünnflüssigkeit der drei ersten ergab auch jenen allgemeinen Charakter; dabei ist in betreff des ersteren zu bemerken, dass die in der Stichflamme ausgeschiedene Bleimenge viel geringer war als bei einem sog. französischen Krystallglas; das vierte trug den für das Jenaer Glas conventionellen roten Faden. Um das Leitungsvermögen der inneren Oberfläche dauernd zu zerstören, und so nur bei dem einen Rand der äusseren Stanniolbelegung für einen sicheren unmittelbaren Contact sorgen zu müssen, wurden die mit Siegellackstückchen gefüllten Röhrchen über eine Flamme gehalten, und so die Innenwände mit einem Überzug von Siegellack versehen.

Tabelle IV.

Glas	h in %		$\varkappa$ in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	t°C.	W in tausend	w Megohm
Bleiglas (II)	0	I	E = 0,000 179	97	5	72	24	93 400	58 700
		II	„ = 0,000 176	96	„	42	24,2	54 900	
l = 7,5cm		III	„ = 0,000 171	94	„	68	24,2	89 500	
$c_1 = c_2 = 5{,}57$cm		I	M = 0,5	60	5	20	25,3	5,74]	
w = 0,74 W	100	II	„ „	54	„	22,8	25,3	5,89]	4,6
		III	„ „	50	„	29,6	25,5	7,07]	
Jenaer Glas	0	I	E = 0,000 169	93,1	10	19,4	24,3	12 800	7 400
		II	„ = 0,000 164	91	„	17,9	24,1	11 900	
l = 9,15cm		III	„ = 0 000 162	90	„	16,2	24,2	10 700	
$c_1 = c_2 = 5{,}73$cm		I	M = 0.5	111	20	37,7	24,2	4,98]	
w = 0,63 W	100	II	„ „	106	„	22,1	24,2	2,83]	2,2
		III	„ „	103,5	„	21.8	24,4	2,69]	
Kaliglas	0	I	E = 0,000 152	85	0,5	112	23,7	1 500 000	1 300 000
		II	„ = 0,000 145	81,3	0(?)	30	24	—	
l = 7,6cm		III	„ = 0,000 145	81,1	—	—	24,2	—	
$c_1 = c_2 = 6{,}75$cm		I	M 0,5	100,2	100,2	39,5	25	0,91]	
w = 0,89 W	100	II	„ „	98,6	98,6	44,8	25,2	1,03]	0,93
		III	„ „	97	97	52,2	25,1	1,2]	
Natronglas (IV	0	I	E = 0,000 117	67,1	2	66,3	25,3	228 000	170 000
		II	„ = 0,000 116	66,9	2	57,1	25,3	197 000	
l = 7,5cm		III	„ = 0,000 108	61	1	36	25,3	244 000	
$c_1 = c_2$ 5,6cm		I	M 0,5	82,3	82,3	38	25,4	0,87]	
w 0,75 W	100	II	„ „	81,7	81,7	27,1	25,5	0,62]	0,7
		III	„ „	81	81	58	25,5	1,33]	

Es verhielten sich also die Oberflächenleitungsfähigkeiten der vier Glasröhrchen bei vollständig feuchter Luft, in der Reihenfolge, wie sie in dieser Tabelle angegeben sind, wie

$$1 : 2{,}1 : 5 : 6{,}5$$ [1])

Nach der letzten, sowie überhaupt nach allen bisher mitgeteilten Tabellen darf man auf den genauen Wert der in diesem Verhältnisse vorkommenden Zahlen nicht viel Gewicht legen; doch kann mit voller Gewissheit gesagt werden: bei mit Wasserdampf gesättigter Umgebung war das Leitungsvermögen der untersuchten Röhrchen aus Kali- und Natronglas grösser als das Leitungsvermögen der aus Blei- und Jenaer Glas. Lässt sich in dieser Form das erhaltene Resultat verallgemeinern und von jenen vier Röhrchen sofort auf die entsprechenden Glassorten ausdehnen? Abgesehen von Jenaer Glas ist dies von vornherein nicht unwahrscheinlich, indem das Wesen der drei anderen Sorten durch den Gehalt an Kalium und Natrium bedingt ist, und die Verbindungen dieser zwei Körper vielfach wasserbegierig sind; mithin jener Gehalt an Kalium oder Natrium die hygroscopischen Eigenschaften des Glases vielleicht erhöht. Es würde dies auch mit einigen Ergebnissen der von Warburg und Ihmori gemachten, oben erwähnten Messungen stimmen.[2]) Indessen wird man in der Arbeit dieser Verfasser bemerken, dass die Dicke der von ihnen gemessenen Wasserhaut mit der Verminderung der Differenz der daselbst mit ϑ_1 und ϑ bezeichneten Temperaturen sehr stark[3]) zunahm, und dass bei dem einzigen Bleiglas β

[1]) Die Leitungsfähigkeiten bei vollständiger Trockenheit, für welche sich aus der Tabelle IV ein ganz anderes Verhältnis ergiebt, dürften sich wohl mit den inneren Leitungsfähigkeiten der Gläser decken.

[2]) Cf. Warburg und Ihmori, l. c. pg. 488, Zeile 10 v. o. „Bei Bleiglas, welches auch im frischen Zustande verhältnismässig schwach absorbierte etc. . . . .“ — pg. 498, Zeile 1 v. o., „Bleiglas absorbiert etwas weniger wie Thüringer und Kaliglas.“ — Eventuell auch die Curven f und g in Fig. 3 ebendaselbst.

[3]) Cf. l. c. pg. 498, Tabelle 3, für ein und dasselbe Glas.

ϑ_1	ϑ	Dicke in Milliontel Centimeter
18,31	17,41	8,7
18,78	18,21	13,3
19,38	19,11	13,8
19,48	19,31	20,7

(Tabelle 2, pg. 497), für welches die gemessene Dicke angegeben ist, diese zwar kleiner gefunden wurde, als bei Thüringerglas A und B sowie Kaliglas II, dagegen die entsprechende Differenz $\vartheta_1 - \vartheta$ grösser ausgefallen ist, als bei den letzteren.[1]) Andererseits kann man die für ein Individuum einer Glassorte — je einem der obigen vier Röhrchen — erhaltenen Resultate nicht auf die ganze Gattung übertragen. — Es muss daher die obige Frage noch als eine offene bezeichnet werden.

2. In der soeben erwähnten Arbeit haben Warburg und Ihmori gezeigt, dass bei Glas, welches eine Zeit lang mit siedendem Wasser behandelt worden war, die bei vollständiger Feuchtigkeit sich bildende Wasserhaut dünner war, wie vorher. Auch wurde von ihnen festgestellt, dass so ausgekochtes Glas des Elektroscop gar nicht oder bloss sehr langsam entlud; während es vor dem Auskochen die Blätter des Elektroscops sofort zum Zusammenfallen gebracht hatte.[2]) Um für diese, durch Behandlung mit heissem Wasser hervorgebrachte Veränderung des elektrischen Oberflächenleitungsvermögens des Glases einige absolute Messungen zu erhalten, wurden mehrere der Becher, deren Leitungsfähigkeit schon bestimmt worden war, ausgekocht, und diese nun von neuem gemessen. Auch hier kann wegen der Schwierigkeit, einen unmittelbaren sicheren Contact zwischen Belegung und Glas herzustellen, nur für das Bleiglas I, auf welches sich Tabelle I bezieht, ein direktes Resultat mitgeteilt werden. — Die ganze Einwirkung des Wassers dauerte 30 Minuten, die des kochenden Wassers: 10 Minuten. Eine mittelst Quecksilber u. s. w., nach dem früher auseinandergesetzten Verfahren vorgenommene Untersuchung, ob sich vielleicht die innere Leitungsfähigkeit durch das Auskochen verändert hätte, ergab eine verneinende Antwort. Wie früher war der unmittelbare Contact durch einen immer höher geschobenen Bindfaden gesichert, und wie damals

[1]) Die Zusammenstellung der Werte für die kleinsten Differenzen $\vartheta_1 - \vartheta$ in dieser Tabelle 2 ergiebt:

Glas	ϑ_1	ϑ	Dicke in Milliontel Centimeter
Thüringer Glas A	16,78	16,21	2,62
„ B	16,38	15,74	5,22
Kaliglas I	15,18	13,81	1,19
„ II	15,48	15,01	4,42
Bleiglas β	15,38	14,51	1,94

[2]) l. c. pg. 488.

ist die am Anfang vorgenommene Waschung bis zum Ende nicht mehr wiederholt worden. Die Resultate der Messungen sind in folgender Tabelle V zusammengestellt; um die nunmehr einer bestimmten Feuchtigkeit entsprechende Leitungsfähigkeit, resp. den betreffenden Widerstand mit demjenigen, welcher vor dem Auskochen bei derselben Feuchtigkeit statt hatte, besser vergleichen zu können, ist der letztere jedesmal in eckigen Klammern [. . .] dem ersteren beigefügt. Da die mittleren Temperaturen beinahe dieselben waren (jetzt 18,5° C., damals 19° C.), gestatten diese Zahlen einen unmittelbaren Vergleich zwischen beiden Leitungsfähigkeiten.

Tabelle V.

Bleiglas I. $l = 4{,}1^{cm}$; $c_1 = 19{,}2^{cm}$; $c_2 = 20{,}8^{cm}$; $w = 4{,}9$ W.

h in %		x in Mikrofarad	v in Sc.	V_2' in Sc.	t in Sek	t°C.	W in tausend	w Megohm
	I	E	—	0	120	—	—	
0	II	„	—	0	„	—	—	
	III	„	—	0	„	—	—	
2,4	I	E	—	0	120			
8,2	I	E	—	0	120			
17,3	I	E	—	0	120	18,8	—	∞ [3 500 000]
26,2	I	E=0,000 070	22	0,2(?)	210	19,6	3 960 000(?)	19 400 000
	I	E=0,000 068	21	—	110	19,6	—	[760 000]
36,7	II	E=0,000 123	71,6	5	90	18,7	125 000	660 000
	III	E=0,000 217	110	5	120	18,3	146 000	[150 000]
	I	E=0,000 068	20	—	50,8	19,6	—	
55,0	II	„ 0,000 123	71,5	71,5	39,2	18,7	3 700	25 000
	III	„ 0,000 204	107,8	90	90	18,6	6 100	[1 489]
	I	$E+L_1$ 0,001 50	83	—	53,6	19	—	
65,0	II	„ 0,001 48	66,5	66,5	84,7	17,7	660	3 100
	III	„ 0,001 56	105,8	105	83,2	18,6	620	[67]
	I	$E+L_1$= 0,001 50	83	166	31,2	18,5	114	
76,6	II	„ 0,001 48	66,2	133	31,8	18	120	530
	III	„ 0,001 55	103	206	24,7	18,3	88	[12,2]
	I	$E+L_2+L_3$=0,012 5	82	82	35	18,7	32	
85,7	II	„ „	65,8	133	64,2	18,7	28	140
	III	„ 0,012 6	102	206	60	18,7	26	[4,2]
	I	M=0,5	76,5	5	42	18,6	15,4	
100	II	„ „	65,5	5	45	18,8	14,1	62
	III	„ „	100	10	38,8	18,7	9,3	[3,1]
	IV	„ „	25,5	2	39	20,8	11,9	

Nach den hier unter der Columne w angegebenen Widerständen w ist die Curve in Fig. 4 gezeichnet. [1]) Es geht aus

[1]) Siehe oben Anm. 2, Seite 28.

dieser Tabelle hervor, dass die Oberflächenleitungsfähigkeit des 10 Minuten lang mit siedendem Wasser behandelten Glases bei der Feuchtigkeit 100 ungefähr dieselbe war, als die, welche das Glas vor dem Auskochen bei der Feuchtigkeit 65 besass. Das Verhalten eines geladenen Elektroscops, welches mit dem abgeschnittenen Messingdraht II berührt wurde, während der Messingdraht I mit der Erde in Verbindung stand, war folgendes: vor dem Auskochen entlud sich bei der Feuchtigkeit 65 das Elektroscop sofort; nach dem Auskochen dagegen entlud es sich bei derselben Feuchtigkeit innerhalb einer vollen Minute so viel wie gar nicht, bei der Feuchtigkeit 76,6 gingen die Blätter des Elektroscops nur äusserst langsam zusammen, bei der Feuchtigkeit 85,7 brauchten sie noch immerhin 2 bis 3 Sekunden, bei der Feuchtigkeit 100 war die Entladung momentan.

3. Bei den Bemerkungen zu Tabelle I sind einige absolute Messungen angeführt über den Einfluss, den die Veränderung der Temperatur bei der angewandten Methode haben konnte. Da die Glocke luftdicht geschlossen war, änderte sich hierbei mit der Temperatur auch die Tension des Wasserdampfes über der Schwefelsäure-Mischung. Während also z. B. eine Erhöhung der Temperatur das Verdampfen der auf dem Glas befindlichen Wasserhaut zu bewirken suchte, hatte die infolge der grösseren Tension aus der Schwefelsäure-Mischung selbst hervorgegangene Wasserdampfmenge das Bestreben, dieselbe wieder herzustellen. Ein anderer Fall ist daher geboten, wenn man die Temperatur verändert, aber die absolute Feuchtigkeit constant lässt.

Eine auf diesen Fall sich beziehende Untersuchung ist schon von Cardani und zwar ebenfalls mittelst der Condensator-Methode gemacht worden.[1]) Doch hebt der Verfasser selbst am Anfang hervor, dass er weniger absolute Zahlen als vielmehr den allgemeinen Charakter der Erscheinungen suchte. Auch können die angegebenen Zahlen nicht zu einem absoluten Zahlenverhältnis verwandt werden. Denn erstens stand die durch einen Zug von heisser Luft inwendig gewärmte Glasröhre unmittelbar mit der kälteren Zimmerluft in Berüh-

[1]) Cardani. Il nuovo Cimento. III Serie, tomo 20 (1886). „Sul potere conduttore etc. . . .“ pg. 85.

rung, infolgedessen konnte die Temperatur der dünnen, auf dem Glas sich befindenden Wasserhaut um viele Grade geringer sein, als diejenige, die in der Röhre herrschte und durch das Thermometer angegeben war. Zweitens ist die sehr kurze Zeit [1]) — 5 Sekunden, — während welcher die Elektricitätsquelle mit der einen Belegung der Röhre verbunden war, von dem Augenblick an gerechnet, in welchem diese Verbindung hergestellt wurde; es kann daher der durchgelassene Strom nicht als constant angesehen werden, und sind die erhaltenen Elektrometer-Ausschläge zu gross.

Es ist daher diese Untersuchung von Cardani nochmals aufgenommen worden, jedoch auch bloss für den Fall einer Temperaturerhöhung. Um für Glas, Wasserhaut und nächste Umgebung eine ziemlich gleiche Temperatur zu erhalten, wurde der Wärme-Isolator Z_1 Z_2 benutzt. In dem Behälter Z_2 Z_2 stand isoliert das zu untersuchende Glas; oben war der Behälter durch die früher beschriebenen Blech- und Filzdeckel geschlossen, bis auf die runde Öffnung in der Mitte, deren Durchmesser 5 cm betrug: durch diese Öffnung stand die im Behälter befindliche Luft mit der des Zimmers in Verbindung. Durch dieselbe gingen auch, getrennt von einander und getragen durch je eine Siegellackstange, die zu den Belegungen B_1 und B_2 führenden Drähte I und II, ausserdem noch ein ziemlich langes Thermometer, welches durch den Deckel a hindurch in das Glas hineinragte; die Kugel desselben befand sich ungefähr in der Höhe des unteren Randes der Belegung B_2 und war 12 cm und mehr von der Öffnung im Filzdeckel entfernt. Um den früher durch das Aufdrücken der Glocke gesicherten Contact der Drähte I und II mit den Belegungen zu erhalten, wurden jene an den Deckel a resp. an den Messingstreifen mn angelötet, und diese zwei Stücke mit Gewichtchen belastet. Die Erhöhung der Temperatur wurde bewerkstelligt wie früher. Um dabei die Vermehrung des Gehaltes der Luft an Wasserdampf zu vermeiden, wurde über das Wasser im Hohlcylinder HH eine circa 1 cm hohe Schicht Öl gegossen:

[1]) Das Verfahren war folgendes: es wurde jene Verbindung jedesmal 5 Sek. lang hergestellt und dann beobachtet, welchen Ausschlag die auf einem Condensator aufgesammelte Elektricitätsmenge der Elektrometernadel erteilte. l. c. pg. 93.

direkt unter diese Schicht wurde mittelst eines Schlauches das in einem anderen Zimmer erwärmte Wasser eingelassen. Eine eventuelle, dadurch bewirkte Erhöhung der relativen Feuchtigkeit im Zimmer selbst konnte mittelst eines August'schen Psychrometers nicht constatiert werden.

In folgender Tabelle VI sind die Ergebnisse einiger Messungen zusammengestellt; dabei bedeutet t_1^0 die Temperatur die das im Glas befindliche, lange Thermometer angab; das eingeklammerte $[t_2^0]$ ist die gleichzeitige Temperatur im Hohlcylinder HH. — Sofort nach Eingiessen des heissen Wassers veränderte sich die Leitungsfähigkeit des Glases und schritt nun stetig in derselben Richtung weiter. Eine Constanz trat meistens erst nach 3 Stunden ein; die bis dahin sehr langsam steigende Temperatur t_1^0 war dann ebenfalls eine Zeit lang constant. Wurde nun kein neues heisses Wasser mehr in HH eingegossen, so begann die Leitungsfähigkeit des Glases wieder stetig zu ihrem anfänglichen Wert zurückzukehren. Von den nun ebenfalls abnehmenden Temperaturen t_1^0 und $[t_2^0]$ blieb die erstere stets um 1,5° bis 0° niedriger als die zweite. Die hier sowie auch unten in Tabelle IX und X angegebenen relativen Feuchtigkeiten h sind mittelst eines August'schen Psychrometers bestimmt worden.

Tabelle VI.

Glas	h in %	$\varkappa$ in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	t^0_1 C.	$[t^0_2]$ C.	W in tausend Megohm
Bleiglas I, nicht ausgekocht	54	E = 0,000 079	34	200	21,2	22,2	[22,2]	410
		„ „	„	10	44	32,3	[33]	22 400
		„ „	„	5	105	38	[39,5]	108 000
Bleiglas I, ausgekocht	64	$E+L_1$=0,001 55	102,5	30	16	20,5	[20,5]	418
		E =0,000 19	102,5	10	64	29,3	[29,8]	41 360
Natronglas II	40	E = 0,000 063	7	14	97	23,2	[23,2]	8 470
		„ „	„	„	30	35,7	[36,5]	2 620
		„ „	„	„	19	41,7	[43]	1 660
Natronglas III	67	E =0,000 142	80	80	33	21,1	[21,1]	2 670
		$E+L_2$=0,004 5	„	5	21	35,5	[37]	894
		„ „	„	5	14	42	[44]	596

Es hatte demnach eine Erhöhung der Temperatur bei Bleiglas I eine sehr starke Vergrösserung des Widerstandes, dagegen bei Natronglas II und III eine schwache Verminderung desselben zur Folge, wenigstens bei den angegebenen relativen Feuchtigkeiten. Es kann nun keinem Zweifel unterliegen, dass jene Temperaturerhöhung bei beiden Glassorten ein teilweises Verdampfen der auf dem Glas befindlichen Wasserhaut, und also auch bei beiden eine Verminderung der elektrischen Oberflächenleitungsfähigkeit bewirkte. Es muss also der Grund der Verschiedenheit der Erscheinung in der Verschiedenheit des inneren Leitungsvermögens gesucht werden: denn, wie schon früher gelegentlich mitgeteilt wurde, war dieses bei Bleiglas I so viel wie gleich Null, bei den Natrongläsern aber nicht. Da nun dasselbe bei Glas, wie überhaupt bei den Elektrolyten, mit der Temperatur wächst, muss man annehmen, dass es in den obigen Versuchen beim Bleiglas viel schwächer, dagegen bei den 2 Natrongläsern etwas stärker zugenommen, als das Oberflächenleitungsvermögen abgenommen hat. Man gelangt deshalb zu dem Resultat, dass ein bei constanter absoluter Feuchtigkeit von der Zimmertemperatur an erwärmtes Glas eine kleinere oder grössere elektrische Leitungsfähigkeit annehmen kann, je nachdem die innere verschwindend klein gegen die äussere ist, oder nicht.

Offenbar tritt bei fortgesetzter Temperaturerhöhung für jedes Glas schliesslich ein Wärmegrad ein, von dem an die Zunahme der inneren, die ja dann immer mehr zur Geltung kommt, grösser als die Abnahme der äusseren, und demnach die resultierende Leitungsfähigkeit grösser als vorher wird. Indessen scheint dieser Wärmegrad, selbst bei ziemlich geringem Gehalt der umgebenden Luft an Wasserdampf, im allgemeinen nicht innerhalb der Grenzen einer Zimmertemperatur zu liegen. Denn, abgesehen von 3 anderen Bechern aus französischen Krystallglas, zeigten auch die Röhrchen aus Blei-, Natron- und Kaliglas, von denen früher die Rede war, beim Erwärmen alle drei einen grösseren Widerstand; und zwar ist dieser, eine halbe Stunde nach Eingiessen des heissen Wassers in den Hohlcylinder HH: bei dem ersten um das einfache, beim zweiten um das doppelte, beim dritten um das neunfache des Wertes, den er noch bei 25° C. gehabt

hatte, gestiegen; und nur bei dem Röhrchen aus Jenaer Glas war der Wert, den der Widerstand noch bei 25° C. besass, nach ebenfalls einer halben Stunde um 8% gefallen. Ferner zeigten auch zwei andere Becher, die gleichzeitig mit Natronglas III aus demselben Geschäft bezogen waren, bei steigender Temperatur einen grösseren Widerstand. Ferner endlich, hat Cardani bei allen von ihm untersuchten, nach seiner Aussage sehr zahlreichen Röhren — dieselben waren alle aus Thüringer Glas — selbst bis zu einer Temperatur von 40° C. immer nur ein Steigen des Widerstandes gefunden.[1]) — Es kann also die obige Behauptung, dass jener Wärmegrad im allgemeinen nicht innerhalb der Grenzen einer Zimmertemperatur liegt, als vollständig ausser Zweifel betrachtet werden.

4. Einen grossen Einfluss auf die elektrische Oberflächenleitungsfähigkeit des Glases hat die Art und Weise, wie die Oberfläche selbst entstanden ist, ob durch Erstarren der flüssigen Glasmasse an der Luft, ob durch Schleifen, ob durch Bruch.

Dieser Einfluss wurde zum ersten Mal bemerkt, als aus einer weiten Röhre, mit welcher schon Messungen gemacht worden waren und welche durch Unvorsichtigkeit einen Riss erhalten hatte, der ganze den Riss enthaltende Glasstreifen mittelst eines Diamanten ausgeschnitten wurde, und nun der übrige Teil der Röhre nach der gewöhnlichen Methode auf seine Leitungsfähigkeit untersucht werden sollte Trotzdem nun die Oberfläche, längs welcher die Elektricität ihren Weg nehmen konnte, um von B_1 nach B_2 zu gelangen, fast um die Hälfte kleiner geworden war, hatte die Leitungsfähigkeit nicht unbedeutend zugenommen. Eine sorgfältige, mehrmals vorgenommene Untersuchung, ob denn an irgend einer Stelle der ganzen Einrichtung etwas nicht in Ordnung wäre, ergab eine verneinende Antwort. Es konnten demnach nur die beiden durch das Herausnehmen des Glasstreifens entstandenen Bruchflächen, welche beide von der Belegung B_1 bis zur Belegung B_2 reichten, die grössere Leitungsfähigkeit hervorgebracht haben.

Um dies vollständig sicher zu stellen, wurden die zwei Bruchflächen sorgfältig abgerieben, sogleich mit flüssigem Siegellack in Berührung gebracht und so mit einer isolierenden Siegellack-Kruste versehen. Die nunmehr bei vollständiger

[1]) l. c. pg. 85.

Feuchtigkeit vorgenommene Messung des elektrischen Leitungsvermögens ergab einen bedeutend geringeren Wert als vorher. Hierauf wurde das Siegellack wieder entfernt und das Leitungsvermögen bei vollständiger Feuchtigkeit abermals bestimmt: dasselbe nahm nun sehr bald wieder den früheren grossen Wert an. Nachdem dies Verfahren an der eigens dazu aufgeschnittenen Röhre von Natronglas II, sowie an einem Glassplitter von 1—3 cm Breite des Natronglases III wiederholt worden war, und jedesmal übereinstimmende Resultate sich ergeben hatten, konnte an der Wirklichkeit der Sache kein Zweifel mehr erhoben werden.

Trotzdem die auf diese Weise vorgenommenen Messungen wegen einer eventuellen Luftschicht, die zwischen Glas und Siegellack sich befinden konnte, vielleicht nicht sehr genau sind, dürfte es doch nicht ganz wertlos sein, die Zahlen, die sich hierbei bei vollständiger Feuchtigkeit ergeben haben, hier mitzuteilen.

Tabelle VII.

Glas	Versuch	z in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	W in Megohm.
1. Glas	I ohne Siegellack	M = 0,5	92,5	370	14,2	71
	II mit „	„ „	92	92	26	598
Natronglas II	I ohne „	M = 0,5	97	388	33,5	168
	II mit „	$E+L_2 = 0{,}0046$	96	96	36	90 000

Bei den beiden Versuchen I rührte der Ausschlag V_2 am Elektrometer her erstens von der Elektricitätsmenge Q_x, welche längs der Bruchflächen, und zweitens von der Menge Q_y, welche längs der glatten inneren und äusseren Oberflächen von B_1 nach B_2 gelangt war. Es ergiebt sich nun der Ausschlag x, den die Menge Q_y für sich allein beim 1. Glas Versuch I nach 14,2 sec hervorgebracht hätte, aus der Formel:

$$598 = \frac{(2.12.92{,}5 - 370)\ 14{,}2}{2.0{,}5\,x},$$

nämlich x gleich 44 Sc. Mithin ist der Ausschlag, den die Menge Q_y beim 1. Glas nach 14,2 sec bei $z = M = 0{,}5$ Mikrofarad veranlasst hätte, gleich 370—44 = 326 Sc. Hieraus folgt, dass der Widerstand längs der zwei Bruchflächen des 1. Glases gleich 81 Megohm war. Ganz analog findet man für den

entsprechenden Widerstand des Natronglases II 168 Megohm. — Es betrug nun die Länge von je zwei dieser Bruchflächen 5 cm resp. 4,2 cm, deren Breite im Durchschnitt 0,14 cm resp. 0,19 cm. Demnach ergiebt sich für den elektrischen Widerstand eines Streifens Bruchoberfläche von der Länge 1 cm und Breite der 1 cm der Wert 81. 2.0, 14/5 = 4,5 Megohm, resp. 168. 2.0,19/4,2 = 15 Megohm.

Diese Werte sind bedeutend kleiner, als die kleinste Zahl — 700 Megohm, — die früher für den Widerstand eines gleichen Streifens von der „natürlichen" Oberfläche, d. h. wie sie sich beim Erstarren der flüssigen Glasmasse gebildet hat, gefunden wurde. Erwägt man nun, dass, wenn das Verfahren ein mangelhaftes war, d. h. wenn bei den beiden Versuchen II die Elektricität von B_1 nach B_2 zum Teil längs der Bruchfläche gelangt ist — z. B. infolge einer Luftschicht zwischen Siegellack und Bruchfläche, — dadurch die für den Widerstand der glatten Flächen gefundenen Zahlen zu klein, demnach die für den Widerstand der Bruchflächen gefundenen zu gross sind; ferner, dass bei diesen Versuchen die Belegungen mittelst Leims aufgeklebt waren, mithin jene Werte 4,5 und 15 Megohm sicher zu gross sind, so kann mit voller Gewissheit behauptet werden, dass das elektrische Leitungsvermögen einer Bruchfläche bedeutend grösser ist, als das einer „natürlichen" Oberfläche.

Die Leitungsfähigkeit der durch Schleifen entstandenen Oberflächen wurde zunächst an einem Röhrchen aus Flintglas untersucht.

Um dieses, ähnlich wie den Becher aus französischem Krystallglas, mit unmittelbarem, durch Bindfaden gesicherten Contact zwischen Belegung und Glas benutzen zu können, wurde es in der Oxydationsflamme an einem Ende zugeschmolzen: die mittelst Quecksilber vorgenommene Untersuchung ergab denn auch, dass durch den zugeschmolzenen Boden und die Wände so viel wie gar keine Elektricität von B_1 nach B_2 gelangen konnte. Es wurde nun zuerst das elektrische Leitungsvermögen der „natürlichen" Oberfläche dieses Röhrchens gemessen. Hierauf wurde diese auf der Drehbank mit einem Schmirgelstein matt geschliffen und die nunmehrige Leitungsfähigkeit von neuem bestimmt. Hernach wurde die matt geschliffene Oberfläche mittelst geschlemmten Schmirgels ebenfalls

auf der Drehbank poliert, und die Leitungsfähigkeit abermals gemessen. Die Zahlen, die sich hierbei bei vollständiger Feuchtigkeit ergeben haben, sind im folgenden zusammengestellt. Der Umfang des Röhrchens betrug 2,9 cm; die Entfernung l zwischen den zwei Belegungen: 7,2 cm resp. 0,8 cm.

Tabelle VIII.

Oberfläche		x in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc	t in Sek.	t°c.	W in Megohm	w in Megohm
„Natürlich“	I	M=0,5	80	5	30	21	11 500	
l=7,2cm	II	„ „	80	„	37	21	14 200	5 900
w=0,4W	III	„ „	97	„	40	22,5	18 600	
„Matt“	I	M=0,5	92	400	102	21	461	190
l=7,2cm	II	„ „	90	400	111	„	488	
[Poliert 1]								
l=7,2 cm	I	M=0,5	109	109	61	—	[1400]	[560]
Poliert 2								
l=0,8 cm	I	M=0,5	100	200	26,5	22,5	290	1 100
w=3,6 W	II	„ „	60	60	14	22	322	

Die in dieser Tabelle enthaltenen Zahlen lassen keinen Zweifel daran, dass wenigstens eine „matte“ Oberfläche bedeutend besser leitet als eine „natürliche.“ Doch muss hier gleich mitgeteilt werden, dass diese Zahlen nicht als Ausdruck absoluter Messungen ausgegeben werden können. Denn erstens stellte sich bei diesem Röhrchen, sowohl bei der „natürlichen“ als bei der „matten“ Oberfläche — bei der polierten ist es nicht kontrolliert worden, — merkwürdigerweise, erst nachdem der Strom bereits länger als eine halbe Stunde geschlossen worden war, eine Constanz desselben ein, während bei allen anderen untersuchten Gläsern, selbst bei vollständiger Trockenheit, dies schon nach höchstens 5 Minuten der Fall war. Zweitens kann die erhaltene Politur nicht als eine vollkommene, oder wenigstens als eine normale, leicht definierbare bezeichnet werden.[1])

[1]) Der Wert für [Poliert 1] ist erhalten worden, nachdem schon mehr wie 2 Stunden an der ganzen Länge, die Werte für „Poliert 2“ dagegen, nachdem an einer und derselben engeren Stelle des Röhrchens noch 3 weitere Stunden, immer auf der Drehbank, „poliert“ worden war.

Um daher geschliffene Flächen zu haben, wie sie fabrikmässig dargestellt in den Handel kommen, und deren Leitungsfähigkeit mit der von „natürlichen“ Flächen unmittelbar vergleichen zu können, wurde eine Glasscheibe, in der ein Stern auspoliert war, aus einem Glasergeschäft bezogen. Da die ganze eine Seite noch ihre „natürliche“ Oberfläche besass, und auf der anderen Seite noch Teile der matt geschliffenen Oberfläche waren, während die anderen, anfänglich ebenfalls „matten“ Teile den auspolierten Stern geliefert hatten, war der grosse Vorteil geboten, dass alle drei Flächenarten an einem und demselben Stück — Fenster- also Natronglas — sich befanden. Um die drei Flächen von einander unabhängig zu machen, wurde die Mitte des Sterns, sowie ein Stück mit „matter“ Oberfläche in Form von 4—5 cm langen und ebenso breiten Plättchen ausgeschnitten; die „natürliche“ Oberfläche lieferte ein drittes Plättchen. Die angewandten Belegungen B_1 bestanden in Stanniolringen (s. Fig. 5), deren innerer Rand durch dieselbe festgeschraubte Zirkelöffnung hergestellt war; die Belegungen B_2 dagegen: in kreisförmigen Stanniolplättchen, die alle drei durch denselben, auf ein rundes Metallstäbchen ausgeübten Schlag ausgeschlagen waren. Alle sechs Belegungen wurden mittelst flüssigen Leims auf die Glasplättchen geklebt, und zwar so, dass B_2 möglichst in der Mitte der von dem inneren Rand von B_1 umschlossenen Glasoberfläche sich befand. Um zu verhindern, dass irgend eine Elektricitätsmenge von B_1 aus über den Rand des Glasplättchens, dann längs der entgegengesetzten Seite und nun durch das Glas selbst zur Belegung B_2 gelange, wurde diese entgegengesetzte Seite mit Siegellack überzogen. Ferner, um alle drei Flächen gleichzeitig untersuchen zu können, wurden die Enden der Messingdrähte I und II zu passenden Kurbeln umgebogen, und die Drähte selbst in den dünnen Glasröhrchen I u. II gelockert, so dass man sie auf und ab bewegen, sowie auch drehen konnte. Die drei Glasplättchen selbst wurden dann an passende, durch Probieren ermittelte Stellen mittelst Siegellackstützen auf der zur Glocke gehörigen Glasplatte befestigt. Die Verbindung mit Condensator und Batterie wurde durch festes Andrücken der in abgestumpften, blanken Spitzen endigenden Drähte I und II auf die horizontal liegenden Belegungen B_1 und B_2 her-

gestellt. Schwefelsäure oder Wasser wurde nicht in die Glocke gestellt; sondern, nachdem alle drei zu untersuchende Oberflächen nach jedem Versuch mit einem feuchten Lappen bestrichen und mit reinem Leinenzeug getrocknet worden waren, blieben die Glasplatte mit den drei aufgekitteten Plättchen und die umgestülpte Glocke 2 bis 3 Stunden der Einwirkung der im geschlossenen Zimmer befindlichen Luft frei ausgesetzt. Nach dieser Zeit wurde die Glocke rasch auf die Glasplatte aufgedrückt, und die nunmehr bald constant gewordene Leitungsfähigkeit der 3 verschiedenen Oberflächen hintereinander bestimmt, ohne dass die Glocke unterdessen wieder geöffnet wurde. Die Resultate der drei vorgenommenen Versuche sind in folgender Tabelle IX enthalten.

Tabelle IX.

Versuch	Oberfläche	h in %	x in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	t°C.	W in tausend Megohm
I	„Natürlich“	61,5	E=0,000 079	34	20	16	24	4 030
	Poliert		„ „		150	39,2		1 100
	„Matt“		$E+L_1=0,001\,44$		150	21		32,4
II	„Natürlich“	63	E=0,000 097	52	10	14,5	22,7	9 250
	Poliert		„ „		100	30		1 780
	„Matt“		$E+L_2=0,004\,5$		50	35		93,2
III	„Natürlich“	62	E=0,000 096	50,5	10	13,5	23	8 450
	Poliert		„ „		150	39,2		1 450
	„Matt“		$E+L_2=0,004\,5$		50	21,5		55,5

Es verhielten sich demnach die Gesammtwiderstände W der drei Plättchen, in der angegebenen Reihenfolge bei der mittleren relativen Feuchtigkeit 62, im Durchschnitt wie

120: 24:1 .—

Jeder Gesammtwiderstand setzte sich aus dem der betreffenden Glasoberfläche und dem der dünnen, zwischen Glas und Belegung befindlichen Leimschicht zusammen. Macht man nun die Voraussetzung, dass der letztere für alle drei, gleichermassen congruente Plättchen gleich gross war, so ergeben die Werte, welche für die Widerstände der Oberflächen allein übrig bleiben, ein Verhältniss, das noch grösser als das obige ist. Doch ist jene Voraussetzung wohl nicht gestattet; viel-

mehr ist es wahrscheinlich, dass je besser leitend, also auch je feuchter die Oberfläche war, desto feuchter auch der Leim am Rande der Stanniolbelegungen, und infolgedessen desto geringer dessen Widerstand für Elektricität wurde. Nimmt man daher an, dass der Widerstand der Leimschicht proportional mit dem Widerstand der Glasoberfläche abgenommen hat, so stellt obiges Verhältnis genau das der blossen Glasoberflächen-Widerstände dar. Demnach hätten sich die elektrischen Leitungsfähigkeiten der „natürlichen", polierten und matt geschliffenen Oberflächen jener Glasscheibe, bei der relativen Feuchtigkeit 62, verhalten wie

$$1 : 5 : 124 \ . —$$

Um die Richtigkeit dieser Resultate einer neuen Probe zu unterwerfen, wurden die 3 Glasplättchen miteinander während 10 Minuten mit kochendem Wasser behandelt und die Leitungsfähigkeit der drei Oberflächen von neuem bestimmt. Als Belegungen wurden dieselben Stanniolringe und -plättchen wie vorher benutzt; nur für das Glasplättchen mit der „natürlichen" Fläche musste ein neuer Ring mit kleinerem inneren Durchmesser ausgeschnitten werden, da jenes während des Auskochens einen Sprung erhalten hatte: dieser Durchmesser betrug 1,6 cm; der entsprechende bei den beiden anderen dagegen: 2,3 cm. Der Durchmesser aller drei kreisförmigen Belegungen B_2 war 0,6 cm. Bei den drei vorgenommenen Versuchen, deren Resultate hier folgen, waren Einrichtung und Verfahren vollständig dieselben, wie sie vorher beschrieben wurden.

Tabelle X.

Versuch	Oberfläche.	h in %	x in Mikrofarad	v in Sc.	V_2 in Sc.	t in Sek.	t°C.	W in tausend Megohm
I	„Natürlich"	—	E=0,000 094	49	10	13,5	22	8 370
	Poliert		„ „		30	14,6		2 970
	„Matt"		$E+L_2=0{,}004\,5$		30	33,5		142
II	„Natürlich"	72	E=0,000 094	49	15	19	22,5	7 820
	Poliert		„ „		50	15,5		1 860
	„Matt"		$E+L_2+L_3=0{,}012\,5$		10	24,5		114
III	„Natürlich"	68	E=0,000 094	48,9	15	22	23	9 040
	Poliert		„ „		60	22,8		2 250
	„Matt"		$E+L_2+L_3=0{,}012\,5$		10	32		149

Aus den Grössen der vorhin erwähnten Durchmesser folgt, dass bei dem Plättchen mit „natürlicher“ Oberfläche die Entfernung zwischen den zwei Belegungen 0,5 cm, dagegen bei den zwei anderen 0,85 cm betrug. Um daher die erhaltenen Widerstände direkt mit einander vergleichen zu können, muss man die des ersten Plättchens noch mit 0,85/0,5=1,7 multiplicieren. Macht man nun in betreff des Widerstandes der Leimschicht dieselbe Voraussetzung wie soeben, so ergiebt sich, dass nach 10 Minuten langem Auskochen die elektrischen Leitungsfähigkeiten der drei Oberflächen bei der mittleren relativen Feuchtigkeit 70, in derselben Reihenfolge wie vorher, sich verhielten wie:

1 : 6 : 106

Es kann somit als erwiesen betrachtet werden, dass eine durch Erstarren der flüssigen Masse gebildete Glasoberfläche in feuchter Luft die Elektricität schlechter leitet als eine solche, die durch Polieren, und diese hinwiederum viel schlechter als eine solche, die durch einfaches Blindschleifen oder durch Bruch entstanden ist.

Beziehung zwischen der elektrischen Oberflächenleitungsfähigkeit des Glases und der von Lösungen deren Beschaffenheit bekannt ist.

Gleich am Anfang dieser Arbeit wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, durch eingehenderes Studium der elektrischen Leitungsfähigkeit einer Glasoberfläche genauere Kenntnisse über diese selbst zu bekommen. Inwieweit die hier gewonnenen Resultate, besonders die unter Ziffer 4 enthaltenen, einen Beitrag hierzu liefern würden, kann einstweilen noch nicht gesagt werden. Doch gestatten dieselben jetzt schon, Lösungen von bekannter Beschaffenheit anzugeben, deren Leitungsfähigkeit von derselben Ordnungsgrösse ist, wie die jener Wasserhaut, welche die Oberflächenleitungsfähigkeit des Glases veranlasst.

Es haben nämlich, wie schon früher erwähnt, Warburg und Ihmori für die Dicke derselben bei vollständiger Feuchtigkeit Werte von endlicher Grösse gefunden; und daher lassen sich die oben für einen gewissen Streifen Oberfläche mitgeteilten, absolut gemessenen Widerstände ansehen als die

einer Säule Flüssigkeit von bestimmter Länge und bestimmtem Querschnitt. Um nun für die hier folgenden Rechnungen möglichst genaue Zahlen zu verwerten, muss man beachten, dass bei der Anordnungsweise jener Verfasser Glas und Wasserreservoir in getrennten Versuchsräumen mit verschiedenen Temperaturen ϑ_1 und ϑ sich befanden, und dabei ϑ immer kleiner als ϑ_1 war. Da nun die Grösse der Differenz $\vartheta_1 - \vartheta$ einen grossen Einfluss auf die Dicke der Wasserhaut hatte, und bei der hier gebrauchten Methode Glas und Wasser in demselben kleinen Versuchsraum waren,[1]) muss man zuerst ausrechnen, welchen Wert jene Zahlen für den Fall $\vartheta = \vartheta_1$ angenommen hätten. Es gestattet dies bloss der auf ein erstes Thüringer Glas sich beziehende Teil der von ihnen angegebenen Tabelle 3;[2]) denn nur dieser Teil enthält Werte für Temperaturen ϑ und ϑ_1, die einander sehr nahe — bis auf 0,17°C. — kommen. Es möge daher bloss für ein Thüringer resp. Natronglas die angedeutete Rechnung durchgeführt werden. Es hatte die Wasserhaut bei jenem Thüringer Glas bei einer Temperaturdifferenz $\vartheta_1 - \vartheta = 0{,}27°$C. die Dicke 13,8, bei $\vartheta_1 - \vartheta = 0{,}17°$C. die Dicke 20,7 Milliontel Centimeter. Setzt man voraus, dass bis zur Differenz $\vartheta_1 - \vartheta = 0$ die Dicke im selbigen Verhältnis zugenommen hat, so ergiebt sich für $\vartheta_1 = \vartheta$ die Dicke $32{,}4.10^{-6}$ cm. Es war nun der Widerstand eines Streifens Oberfläche von 1 cm Länge und 1 cm Breite des Röhrchens aus Natronglas bei vollständiger Feuchtigkeit gleich 700 Megohm gefunden worden. Nimmt man an, dass die damals vorhandene Wasserhaut jene Dicke besass, so ergiebt sich als elektrischer Widerstand für ein Cubikcentimeter der betreffenden Flüssigkeit: $700.0{,}000\,032\,4$ Megohm $= 22\,680$

[1]) Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch hier die Temperatur des Wassers in dem Recipienten R R um Bruchteile eines Grades geringer war, als diejenige des einige Centimeter höher stehenden Glases; und die im Anschluss an Tabelle I besprochenen Schwankungen des Widerstandes W könnten teilweise auch durch diesen Umstand hervorgebracht worden sein. — Indessen braucht diese eventuelle Verschiedenheit der Temperaturen hier nicht berücksichtigt zu werden; denn bei Warburg und Ihmori war die Temperatur ϑ_1 die des unteren Teiles des Versuchsraumes, wie aus den von ihnen gezeichneten Figuren 1 und 2 hervorgeht.

[2]) l. c. pg. 498.

Ohm. Es ist aber der Widerstand von einem Cubikcentimeter Quecksilber gleich $1:(106.100) = 0{,}000\,094\,4$ Ohm. Also verhält sich der Widerstand jener Flüssigkeit zu dem von Quecksilber wie 24.10^7 zu 1.

Das aus diesem Verhältnis sich ergebende Leitungsvermögen der Flüssigkeit ist bedeutend kleiner als alle diejenigen, die F. Kohlrausch für die von ihm untersuchten Lösungen gefunden hat;[1] — Lösungen von Substanzen, die in Wasser leidlich löslich sind. Denn während diese, bezogen auf das von Quecksilber gleich 10^{10}, kaum unter 10^1 herabsteigen — mit Ausnahme der von Essigsäure $= 1{,}5.10^3$ und von Ammoniak $= 10^3$, — stellt sich jenes, auf dieselbe Einheit bezogen, durch die einfache Zahl $10^8/24 = 42$ dar. Dagegen ist es von derselben Ordnung wie diejenigen, die Friedr. Kohlrausch und Friedr. Rose[2]) für mehrere gesättigte Lösungen von Substanzen, die in Wasser schwer löslich sind, in allerneuester Zeit ermittelt haben: denn bezogen auf eben jene Einheit, sind diese, mit Ausnahme desjenigen von Gyps $= 1\,770$, sämmtlich enthalten zwischen 0,1 und 200.

Bedenkt man nun, dass die bei vollständiger Feuchtigkeit auf dem Glas sich bildende Lösung notwendigerweise eine gesättigte ist, dass die Oberflächenleitungsfähigkeit bei sämmtlichen hier, sowie die Dicke der Wasserhaut auf sämmtlichen von Warburg und Ihmori untersuchten Gläsern von jederselben Ordnungsgrösse sind, so kann als sicher hingestellt werden, dass die auf Glas bei feuchter Umgebung sich bildende Wasserhaut eine Lösung von in Wasser schwer löslichen Substanzen ist. — Sucht man unter den Lösungen von Fr. Kohlrausch und Fr. Rose diejenigen auf, deren Gegenwart auf einer in feuchter Luft befindlichen Glasoberfläche nach der Beschaffenheit des Glases selbst möglich, und zugleich, deren Leitungsfähigkeit von dem oben gefundenen Wert 42 nicht allzu weit entfernt ist, so ergeben sich vor allem die der zwei folgenden Substanzen:

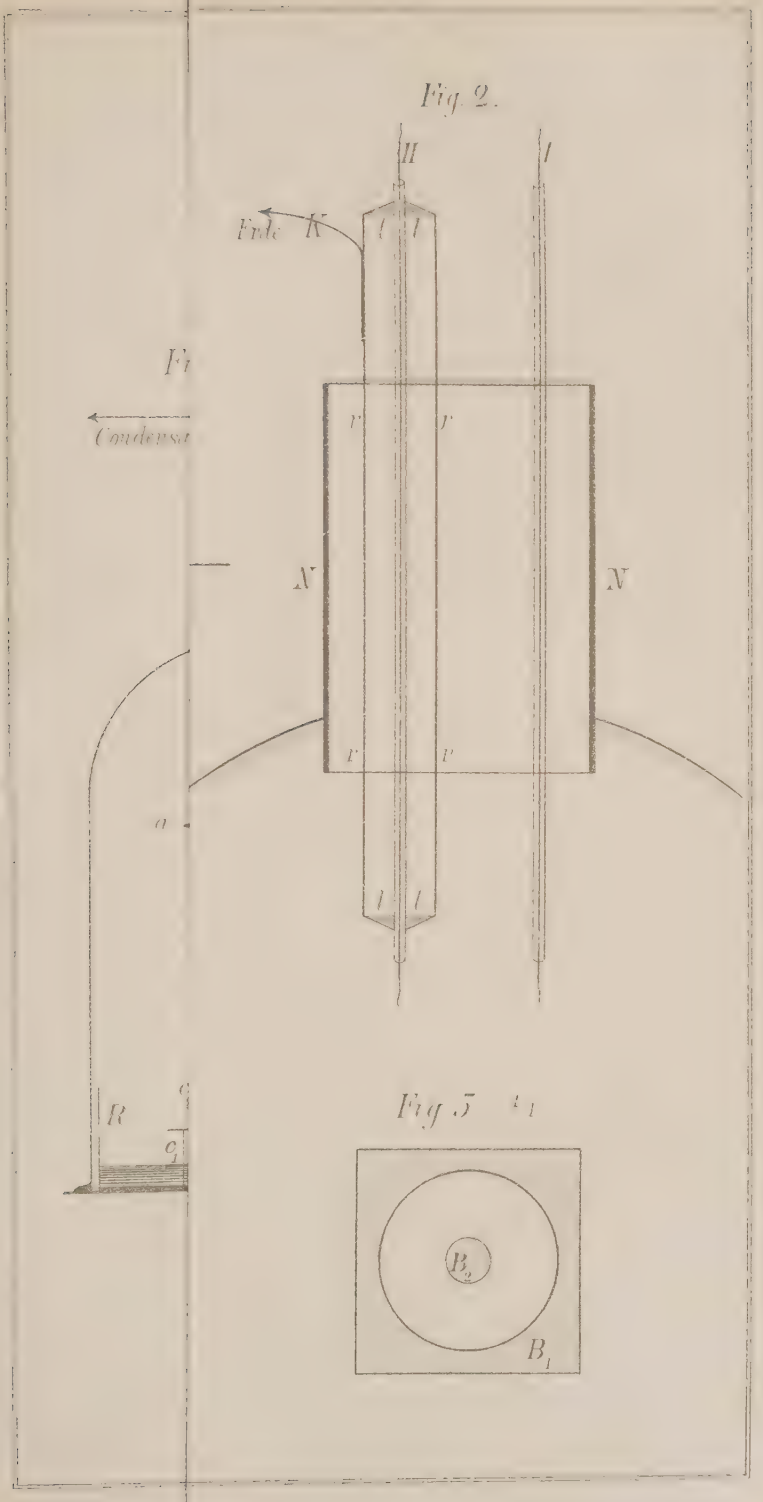
[1]) Pogg. Ann. Bd. 154, pg. 215.

[2]) F. Kohlrausch u. F. Rose: „Die Löslichkeit einiger schwer löslicher Körper im Wasser, beurtheilt aus der elektrischen Leitungsfähigkeit der Lösungen." Sitzungsbericht der k. pr. Akademie der Wissenschaften. Gesammtsitzung vom 1. Juni 1893.

Kohlensaures Calcium mit Leitungsf. = 27 bei 18°C.
„Lösliche“ Kieselsäure „ „ = 106 „

Es besteht nun das Glas im wesentlichen aus Verbindungen der Kieselsäure mit gewissen Basen. Die Metalle der letzteren lassen sich mehr oder weniger leicht verflüchtigen, das Kieselsäure-Anhydrid dagegen, SiO_2, so viel wie gar nicht; es ist daher wohl möglich, dass eine Erstarrungsoberfläche freie, nicht gebundene Kieselsäure enthält. Dieses ist um so leichter annehmbar, als die Härte des Glases mit dem Gehalt an Kieselsäure zunimmt, und jene Erstarrungsoberfläche immer härter als das Innere des Glases ist. Wäre es nun erlaubt, eine Vermutung über die Beschaffenheit der in feuchter Luft auf einer“ natürlichen“ Glasoberfläche sich bildenden Wasserhaut auszusprechen, so wäre, auf Grund der ungefähren Uebereinstimmung ihrer elektrischen Leitungsfähigkeit mit der von löslicher Kieselsäure, die nächstliegende diese: jene Wasserhaut ist eine Lösung von Kieselsäure.

Diese Untersuchung wurde im physikalischen Institut der Universität zu Bonn auf Anregung des Herrn Prof. Dr. Heinrich Hertz unternommen und unter seiner Leitung noch vollständig durchgeführt. Leider ist es mir jetzt nicht mehr vergönnt, ihm an dieser Stelle meinen innigsten Dank zu sagen. Es möge mir daher gestattet sein, diese Inaugural-Dissertation seinem Andenken zu widmen.



Lith. Inst. v. A. Henry, Bonn.

Lebenslauf.

Ich, Anton Krummenacker, römisch-katholischer Confession, wurde geboren am 10. Juni 1865 zu Plaine-de-Walsch in Lothringen als Sohn des Gastwirtes Joseph Krummenacker und der Helena geb. Engel.

Meinen Gymnasial-Unterricht genoss ich zuerst im „kleinen Seminar" zu Pont-à-Mousson in Frankreich, dann im Institut zum hl. Ausgustinus zu Bitsch in Lothringen und im bischöflichen Gymnasium zu Montigny bei Metz. Nachdem ich in letzterem das Zeugnis der Reife erhalten hatte, wurde ich 1884 ins Priester-Seminar zu Metz aufgenommen. Demselben gehörte ich 5 Jahre an. Nach Abschluss meiner theologischen Studien daselbst erteilte mir im Sommer 1889 der hhw. Herr Bischof Fleck die hl. Priesterweihe.

Im Herbst desselben Jahres bezog ich, um Mathematik und Physik zu studieren, die Universität Bonn, dann auf ein Jahr München, dann wieder Bonn bis Herbst 1893.

Meine Lehrer während dieser vier letzten Jahre waren die Herren Professoren und Docenten

in München: v. Baeyer, Döhlemann, Groth, Hertwig, Königs, Pauly, v. Pechmann, Radlkofer, Voss;

in Bonn: Hertz †, Kortum, Laspeyres, Lenard, Lipschitz, Lorberg, Minkowsky, Pulfrich, Rein, Richarz.

Thesen.

1. In Bezug auf die elektrische Leitungsfähigkeit zerfallen die Körper in gute und schlechte Leiter; — Isolatoren in der vollen Bedeutung des Wortes giebt es nicht.

2. Die Ansicht von Warburg und Ihmori (Wied. Ann. Bd. 27. pg. 491), dass die in feuchter Luft auf dem Glase sich bildende Wasserhaut durch anwesende freie Alcalien verursacht wird, scheint im Widerspruch zu stehen mit den Grössenzahlen der elektrischen Oberflächenleitungsfähigkeit des Glases.

3. Das Verdienst, die Arbeiten von J. R. Mayer in Deutschland bekannt gemacht zu haben, gebührt Clausius.

4. Die Fundamente einer exacten Naturforschung sind Zahlen.